

(12)特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19)世界知的所有権機関
国際事務局



(43)国際公開日
2001年10月18日 (18.10.2001)

PCT

(10)国際公開番号
WO 01/78454 A1

(51)国際特許分類?: H05B 3/10, 3/16, 3/20, H01L 21/027

特願2001-048978 2001年2月23日 (23.02.2001) JP

(21)国際出願番号: PCT/JP01/02898

(71)出願人(米国を除く全ての指定国について): イビデン株式会社 (IBIDEN CO., LTD.) [JP/JP]; 〒503-0917 岐阜県大垣市神田町2丁目1番地 Gifu (JP).

(22)国際出願日: 2001年4月3日 (03.04.2001)

(25)国際出願の言語: 日本語

(72)発明者; および

(26)国際公開の言語: 日本語

(75)発明者/出願人(米国についてのみ): 伊藤康隆 (ITO, Yasutaka) [JP/JP]; 坂口洋之 (SAKAGUCHI, Hiroyuki) [JP/JP]; 〒501-0695 岐阜県揖斐郡揖斐川町北方1-1 イビデン株式会社内 Gifu (JP).

(30)優先権データ:

特願2000-144123 2000年4月7日 (07.04.2000) JP

(74)代理人: 安富康男, 外 (YASUTOMI, Yasuo et al.); 〒532-0011 大阪府大阪市淀川区西中島5丁目4番20号 中央ビル Osaka (JP).

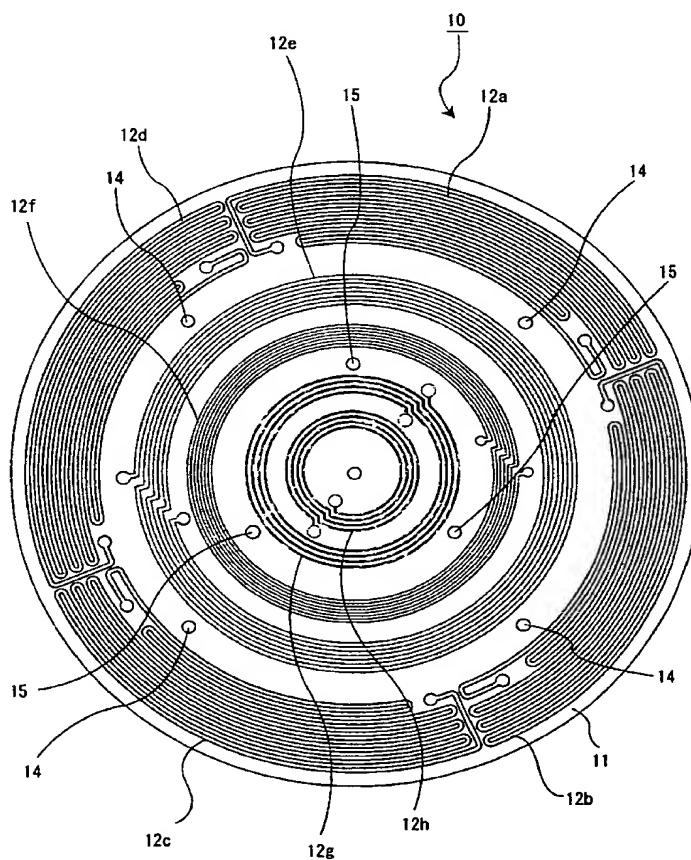
特願2000-363666 2000年11月29日 (29.11.2000) JP

特願2001-048976 2001年2月23日 (23.02.2001) JP

[続葉有]

(54)Title: CERAMIC HEATER

(54)発明の名称: セラミックヒータ



(57)Abstract: The invention provides a ceramic heater for maintaining the heating surface of a silicon wafer at uniform temperature while preventing damage to a silicon wafer. A ceramic heater includes a disklike ceramic substrate, in or on which resistance heating elements is formed. The outermost resistance heating element of the ceramic substrate is divided by radii into at least two circuits. Resistance heating elements consisting of other circuits are arranged inside the outermost resistance heating elements.

WO 01/78454 A1

[続葉有]



(81) 指定国(国内): CN, KR, US.

(84) 指定国(広域): ヨーロッパ特許(AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR).

2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

添付公開書類:

— 国際調査報告書

(57) 要約:

本発明の目的は、シリコンウェハの加熱面の温度を均一化することができ、シリコンウェハの破損を防止することができるセラミックヒータを提供することにあり、本発明のセラミックヒータは、円板形状のセラミック基板の表面または内部に抵抗発熱体が形成されてなるセラミックヒータであって、前記セラミック基板の最外周には、円周方向に分割された少なくとも2以上の回路からなる抵抗発熱体が配置されるとともに、外周部分に配置された前記抵抗発熱体の内側に、別の回路からなる抵抗発熱体が形成されていることを特徴とする。

明細書

セラミックヒータ

技術分野

5 本発明は、主に半導体産業において使用される乾燥用、スペッタリング用等のセラミックヒータに関し、特には、温度制御しやすく、加熱面の温度均一性に優れるセラミックヒータに関する。

背景技術

10 半導体製品は、半導体ウエハ上に感光性樹脂をエッチングレジストとして形成し、半導体ウエハのエッチングを行う工程等を経て製造される。

この感光性樹脂は液状であり、スピンドルコーターなどを用いて半導体ウエハ表面に塗布されるのであるが、塗布後に乾燥させなければならず、塗布した半導体ウエハをヒータ上に載置して加熱することになる。

15 従来、このような用途に使用される金属製のヒータとしては、アルミニウム板の裏面に抵抗発熱体を配置したものが採用されている。

ところが、このような金属製のヒータは、以下のような問題があった。

まず、金属製であるため、セラミック基板の厚みは、15mm程度と厚くしなければならない。なぜなら、薄い金属板では、加熱に起因する熱膨張により、反りや歪みが発生してしまい、金属板上に載置した半導体ウエハが破損したり傾いたりしてしまうからである。しかしながら、セラミック基板の厚みを厚くすると、ヒータの重量が重くなり、また、かさばってしまう。

また、抵抗発熱体に印加する電圧や電流量を変えることにより、加熱温度を制御するのであるが、金属板が厚いために、電圧や電流量の変化に対してセラミック基板の温度が迅速に追従せず、温度制御しにくい。

そこで、特公平8-8247号公報や、特開平11-40330号公報等で提案されているように、発熱体が形成された窒化物セラミックを使用し、発熱体近傍の温度を測定しながら、温度制御する技術が提案されている。

発明の要約

ところが、このような技術を用いて半導体ウエハを加熱しようとした際、セラミックヒータの加熱面に温度差が発生し、特に、同心円形状または渦巻き状のパターンに抵抗発熱体が形成されたセラミックヒータを用いると、加熱された半導体ウエハに中心部分と外周部分とで温度差が大きくなり、半導体ウエハ上の樹脂硬化物の硬化度が不均一になったり、ヒータ表面の温度差に起因する熱衝撃で半導体ウエハが破損してしまうという問題が発生した。

また、温度制御の精度を上げるために、複数の回路からなる抵抗発熱体の近傍の温度をそれぞれ測定し、それぞれの抵抗発熱体に異なる電流を流した場合であっても、やはり加熱面に温度差が発生する場合があった。

そこで、本発明者らは、このような半導体ウエハ上の樹脂硬化物の硬化度が不均一になったり、半導体ウエハが破損してしまう原因について鋭意研究した結果、温度制御を行っているにも拘わらず、このような問題が発生する理由は、単一の温度制御を行っても、加熱面が均一な温度にならず、半導体ウエハに場所による温度差が生じてしまうからであるという事実を突き止めた。

また、セラミック基板の外周部分（セラミック基板の半径の $1/2$ から外側の部分）では、セラミック基板の外縁部からの放熱により、温度が不均一になりやすく、特に、温度が上昇する過程（過渡特性）で、その傾向が顕著に現れるという事実を突き止めた。

また、本発明者らは、このような加熱面に温度分布が発生する原因について鋭意研究した結果、温度制御を行っているにも拘わらず、このような問題が発生するのは、基板の大きさ（直径）に対応する適切な数の回路からなる抵抗発熱体がセラミック基板に形成されていないためであるということを突き止めた。

さらに、このような温度の不均一化は、放熱の大きいセラミック基板の外周部分ほど大きくなり、窒化物セラミックや炭化物セラミックのような熱伝導率が高いセラミック基板を用いると、温度の不均一化の傾向が強くなるという事実も新たに突き止めた。

そこで、本発明者らはさらに検討を重ね、セラミック基板の外周部分（セラミック基板の半径の $1/2$ から外側の部分）に、2以上の回路からなる抵抗発熱体

を配置するとともに、セラミック基板の内側部分（セラミック基板の半径の1／2から内側の部分）に別の回路からなる抵抗発熱体が形成されたセラミックヒータを用い、細かい発熱量制御を行うことにより、半導体ウェハ等の被加熱物の加熱面（以下、加熱面という）の温度差を小さくすることができ、半導体ウェハの破損を防止することができるを見出し、第一の本発明を完成させるに至った。

また、本発明者らは、抵抗発熱体を円周方向に分割された回路や同心円または渦巻きパターンの回路とともに、回路の総数を3以上とすることで、半導体ウェハ等の被加熱物の加熱面の温度差を小さくすることができるを見出し、第二の本発明を完成させるに至った。

さらに、本発明者らは、セラミック基板の直径とセラミック基板に設ける抵抗発熱体の回路の適切な総数との間に一定の関係が成立することを見出し、第三の本発明を完成させるに至った。

即ち、第一の本発明のセラミックヒータは、円板形状のセラミック基板の表面または内部に抵抗発熱体が形成されてなるセラミックヒータであって、上記セラミック基板の最外周には、円周方向に分割された少なくとも2以上の回路からなる抵抗発熱体が配置されるとともに、外周部分に配置された上記抵抗発熱体の内側に、別の回路からなる抵抗発熱体が形成されていることを特徴とするセラミックヒータである。

また、第一の本発明において、上記セラミック基板に設けられた抵抗発熱体の回路の総数nと、上記セラミック基板の直径r（mm）との間には、下記の（1）式の関係が成り立つことが望ましい。

$$n \geq r^{1.94} \times 0.5 \times 10^{-4} \dots (1)$$

また、第一の本発明において、上記別の回路からなる抵抗発熱体は、同心円または渦巻き形状であることが望ましい。

また、第一の本発明において、上記別の回路からなる抵抗発熱体は、同心円または渦巻き形状と、円周方向に分割された抵抗発熱体の混成であることが望ましい。

第二の本発明のセラミックヒータは、直径200mm以上の円板形状のセラミック基板の表面または内部に2以上の回路からなる抵抗発熱体が形成されたセラ

ミックヒータであって、上記抵抗発熱体の少なくとも一の回路は、円周方向に分割されてなり、かつ、同心円または渦巻きパターンを含み、さらに、上記抵抗発熱体の回路の総数は、3以上であることを特徴とするセラミックヒータである。

第三の本発明のセラミックヒータは、円板形状のセラミック基板の表面または内部に2以上の回路からなる抵抗発熱体が形成されたセラミックヒータであって、上記抵抗発熱体の少なくとも一の回路は、円周方向に分割されてなり、かつ、同心円または渦巻きパターンを含み、さらに、上記抵抗発熱体の回路の総数nと上記セラミック基板の直径r (mm)との間には、下記の(2)式の関係が成り立つことを特徴とするセラミックヒータである。

10 $n \geq r^{1.94} \times 10^{-4} \dots (2)$

また、第一、第二および第三の本発明において、上記セラミックヒータは、100～800°Cで使用されることが望ましい。

また、第一、第二および第三の本発明において、上記セラミックヒータには、上記セラミック基板の温度を測定する測温素子と、上記複数の回路からなる抵抗発熱体に電力を供給する制御部と、上記測温素子により測定された温度データを記憶する記憶部と、上記温度データから上記抵抗発熱体に必要な電力を演算する演算部とが備えられており、上記抵抗発熱体の複数の回路には、それぞれ異なる電力が供給されるように構成されていることが望ましい。

さらに、第一、第二および第三の本発明において、上記セラミック基板は、窒化物セラミックまたは炭化物セラミックから構成されていることが望ましい。

なお、以下の説明においては、第一、第二および第三の本発明を特に区別する必要がない場合には、単に本発明ということにする。

図面の簡単な説明

25 図1は、本発明のセラミックヒータにおける抵抗発熱体のパターンを模式的に示した底面図である。

図2は、図1に示したセラミックヒータの部分拡大断面図である。

図3は、本発明のセラミックヒータの他の一例を模式的に示すブロック図である。

図4は、本発明のセラミックヒータにおける抵抗発熱体のパターンを模式的に示した底面図である。

図5は、図4に示したセラミックヒータの部分拡大断面図である。

図6は、本発明の底面に抵抗発熱体が形成されたセラミックヒータの製造工程
5 の一部を模式的に示す断面図である。

図7は、比較例1および比較例4に係るセラミックヒータにおける抵抗発熱体のパターンを模式的に示した底面図である。

図8は、第二および第三の本発明のセラミックヒータにおける抵抗発熱体のパ
ターンを模式的に示した底面図である。

10 図9は、本発明のセラミックヒータにおける抵抗発熱体のパターンを模式的に示した底面図である。

図10は、特開平8-125001号公報におけるセラミックヒータの抵抗発熱体のパターンを模式的に示した底面図である。

15 符号の説明

10、40、50、60、70、80 セラミックヒータ

11、41、51、61、71、81 セラミック基板

11a、41a 加熱面

11b、41b 底面

20 12 (12a~12j)、42 (42a、42b)、52 (52a~52h)
) 抵抗発熱体

120、420 金属被覆層

14、44、54 有底孔

15、45、55 貫通孔

25 17、47 熱電対

20 ソケット

21 記憶部

22 演算部

23 制御部

33、43 外部端子

36 リフターピン

39 半導体ウエハ

5

発明の詳細な開示

次に、第一の本発明のセラミックヒータについて説明する。

第一の本発明のセラミックヒータは、円板形状のセラミック基板の表面または内部に抵抗発熱体が形成されてなるセラミックヒータであって、上記セラミック基板の最外周には、円周方向に分割された少なくとも2以上の回路からなる抵抗発熱体が配置されるとともに、外周部分に配置された上記抵抗発熱体の内側に、別の回路からなる抵抗発熱体が形成されていることを特徴とする。

上記セラミックヒータによれば、温度の不均一化が大きくなるセラミック基板の最外周に、円周方向に分割された2以上の回路からなる抵抗発熱体が配置されているため、放熱量が大きく、温度が不均一になり易いセラミック基板の外周部でより細かい放熱量の制御を行うことができ、加熱面の温度を均一にすることができる。従って、被加熱物を均一に加熱することができ、その結果、例えば、半導体ウエハ上の樹脂硬化物の硬化度を均一にすることができ、また、半導体ウエハの破損を防止することができる。

第一の本発明のセラミックヒータは、セラミック基板の外周部分に、円周方向に2以上の回路に分割された抵抗発熱体を有しているが、このような構成としたのは、例えば、同心円のみで構成される回路では、加熱面の温度を制御することが困難であるからである。このように、上記抵抗発熱体を円周方向に2以上の回路に分割して制御を行うことにより、同一円周上の温度分布の不均一さを無くすことができ、被加熱物を加熱する面（加熱面）の温度を均一化することができる。特に外周付近では、放熱のために温度が不均一化しやすいため、外周部分は、円周方向に2以上の回路に分割されている抵抗発熱体とする。

この場合、円周方向に2以上の回路に分割された上記抵抗発熱体は、外周部分の全体に存在している必要はなく、外周部分の領域に存在していればよい。

さらに、円周方向に2以上の回路に分割された抵抗発熱体は、外周部分のみならず、内側部分に存在していてもよい。

ただし、特開平8-125001号公報におけるセラミックヒータのように、抵抗発熱体92a～92lが内側部分と外側部分とで連続しており、かつ、円周方向に分割された回路である場合(図10参照)は、第一の本発明のセラミックヒータには含まれない。このような構成のセラミックヒータは、セラミック基板の内側部分の直径方向で温度が不均一となるとともに、上記セラミック基板の反りが発生しやすいからである。

上記セラミック基板の反り量は、 $60\mu m$ 以下であることが望ましい。

上記反り量が $60\mu m$ を超えると、被加熱物である半導体ウェハとセラミック基板との間で距離のばらつきが大きくなるため、半導体ウェハを均一に加熱することができないからである。

また、半導体ウェハを加熱する方法としては、上記半導体ウェハをセラミック基板に直接載置し、加熱する方法と、上記半導体ウェハと上記セラミック基板とを $5\sim 500\mu m$ 離間させて加熱する方法の2種類があるが、いずれにせよ、セラミック基板の反り量は $60\mu m$ 以下がよい。

また、第一の本発明のセラミックヒータは、外周部分に配置された抵抗発熱体の内側に、別のパターンの回路からなる抵抗発熱体が形成されている。

このような抵抗発熱体としては、同心円または渦巻きパターンの抵抗発熱体が望ましい。セラミック基板の直径方向の温度の不均一を解消することができるとともに、セラミック基板の反りも防止することができるからである。

特に内側部分(セラミック基板の半径の $1/2$ から内側の部分)では、円周方向よりも直径方向の温度が不均一化しやすいため、内側部分の回路は、同心円または渦巻きパターンであることが望ましい。

また、上記セラミック基板の内側部分には、同心円または渦巻きパターンの抵抗発熱体と円周方向に2以上の回路に分割された抵抗発熱体とを混成させることが望ましい。セラミック基板の内側部分の温度の不均一が解消されるとともに、セラミック基板の反りも防止することができるからである。

従って、第一の本発明のセラミックヒータでは、外周部分に、円周方向に2以

上の回路に分割された抵抗発熱体を形成し、内側部分には、同心円または渦巻きパターンの抵抗発熱体を形成することが望ましい。

これらの抵抗発熱体が一体的に作用することにより、セラミック基板の加熱面の温度が均一となるとともに、セラミック基板に反りが発生せず、セラミック基板と半導体ウェハとの距離が一定となり、半導体ウェハを均一に加熱することができる。
5

また、第一の本発明のセラミックヒータでは、特に、温度が上昇する過程（過渡特性）において生じるセラミック基板の加熱面での温度の不均一を解消することができる。

10 図1は、第一の本発明のセラミックヒータの一例を模式的に示す底面図であり、図2は、その一部を示す部分拡大断面図である。

このセラミックヒータ10では、円板状に形成されたセラミック基板11の加熱面11aの反対側である底面11bに、抵抗発熱体12（12a～12h）が形成されている。

15 また、抵抗発熱体12は、加熱面11aの全体の温度が均一なるように加熱するため、セラミック基板11の最外周に、同心円の一部を描くように繰り返して形成された円弧パターンが配置され、その内部に一部が切断された同心円パターンが配置されている。

最外周の抵抗発熱体12aは、同心円を円周方向に4分割した円弧状のパターンが繰り返して形成され、隣り合う円弧の端部は、屈曲線により接続され一連の回路を構成している。そして、これと同パターンである抵抗発熱体12a～12dの4つの回路が、外周を取り囲むように近接して形成され、全体的に円環状のパターンを構成している。
20

また、抵抗発熱体12a～12dの端部は、クーリングスポット等の発生を防止するために、円環状パターンの内側に形成されており、そのため、外側の回路の端部は内側の方に向かって延設されている。

最外周に形成された抵抗発熱体12a～12dの内側には、そのごく一部が切断された同心円パターンの回路からなる抵抗発熱体12e～12hが形成されている。この抵抗発熱体12e～12hでは、隣り合う同心円の端部が、順次直線

からなる抵抗発熱体で接続されることにより一連の回路が構成されている。

また、抵抗発熱体 12a～12d、12e、12f、12g、12h の間には、帯状（円環状）の発熱体非形成領域が設けられており、中心部分にも、円形の発熱体非形成領域が設けられている。

5 従って、全体的に見ると、円環状の抵抗発熱体形成領域と発熱体非形成領域とが、外側から内側に交互に形成されており、これらの領域をセラミック基板の大きさ（口径）や厚さ等を考慮して、適当に設定することにより、加熱面の温度を均一にすることができるようになっている。

また、抵抗発熱体 12（12a～12h）は、その両端に入出力の端子となる
10 外部端子 33 が金属被覆層 120 を介して接続されている。また、中央に近い部分には、半導体ウェハ 39 を支持するリフターピン 36 を挿通するための貫通孔 15 が形成され、さらに、測温素子としての熱電対 17 を挿入するための有底孔 14 が形成されている。

15 図 4 は、第一の本発明のセラミックヒータの別の一例を模式的に示す底面図であり、図 5 は、その一部を示す部分拡大断面図である。

このセラミックヒータ 50 では、円板状に形成されたセラミック基板 51 の内部に抵抗発熱体 52（52a～52h）が形成されている。

セラミックヒータ 50 の最外周に、4 分割された屈曲線の繰り返しパターンからなる抵抗発熱体 52a～52d が配置され、その内側に、同心円パターンの回路からなる抵抗発熱体 52e～52h が、一定の間隔を置いて配置されている。
20

また、図 1 に示したセラミックヒータと同様に、複数の貫通孔 55 が形成されるとともに、複数の有底孔 54 が形成され、抵抗発熱体 52a～52h の端部の直下には、スルーホール 58 が形成され、さらに、このスルーホール 58 を露出させる袋孔 59 が底面 51b に形成され、袋孔 59 には外部端子 53 が挿入され、
25 ろう材（図示せず）で接合されている。

また、図 9 は、第一の本発明のセラミックヒータの別の一例を模式的に示す底面図である。

図 9 に示すように、セラミック基板 81 の内側部分には、円周方向に分割された抵抗発熱体 12i、12j が形成されている。この場合、セラミック基板 81

の内側部分における円周方向の温度の不均一を解消することができる。

第一の本発明のセラミックヒータは、100～800°Cで使用されることが望ましい。

図1、図4では、抵抗発熱体12a～12d、52a～52dが最外周に配置された抵抗発熱体であるが、このような最外周の抵抗発熱体は、外周から中心までの距離に対し、中心から50%以上の領域に形成されていることが望ましい。50%未満であると、最外周に形成された抵抗発熱体の領域が広くなりすぎるため、加熱面の温度の制御が難しくなるからである。

円周方向に分割されたパターンとは、セラミック基板の中心から外周に向けて複数の線分を引き、その線分により分割された領域に形成されたパターンを指す。通常、その領域は全て同じ大きさが好ましい。また、分割数は、図1に示したように、4分割に限定されず、2分割以上であれば、3分割でも5分割でもよい。通常、セラミック基板の大きさが大きくなるに従って、分割数を多くすることが好ましい。例えば、直径が250mmの基板では、抵抗発熱体の回路を2～4分割することが望ましく、直径が300mmの基板では、2～8分割することが望ましい。

抵抗発熱体のパターンとしては、セラミック基板の最外周に、円周方向に分割された少なくとも2以上の回路からなる抵抗発熱体が配置され、最外周に配置された上記抵抗発熱体の内側に、別の回路が形成されていれば、その形状等は特に限定されず、例えば、図1に示した、円弧の繰り返しパターンと同心円形状のパターンとを併用したパターン、図4に示した、最外周に屈曲線の繰り返しパターンである抵抗発熱体52a～52dが形成され、その内部に同心円形状のパターンである抵抗発熱体52e～52hが形成されたパターン等が挙げられる。

また、例えば、渦巻き状のパターン、偏心円状のパターン、屈曲線の繰り返しパターン等も用いることができ、これらを併用してもよく、これらと図1または図4に示したパターンとを併用してもよい。

さらに、円周方向に分割された抵抗発熱体のパターンは、セラミック基板の最外周に限らず、その内部にも形成してもよい。

第一の本発明のセラミックヒータ10における抵抗発熱体12は、セラミック

基板 1 1 に設けられた抵抗発熱体 1 2 の回路の総数 n と、セラミック基板 1 1 の直径 r (mm) との間には、下記の (1) 式の関係が成り立つことが望ましい。

$$n \geq r^{1.94} \times 0.5 \times 10^{-4} \dots (1)$$

(1) 式の関係が成り立つように抵抗発熱体を形成すると、セラミック基板の加熱面の面積に対する抵抗発熱体の回路の総数が充分に多くなり、一回路が加熱する面積が適切な範囲となるため、一回路内における発熱量のばらつきを小さくすることができる。その結果、各回路に異なる電流を供給することで、細かい発熱量の制御を容易に精度よく行うことが可能となり、加熱面 1 1 a の温度を均一にすることができる。

逆に (1) 式の関係が成り立たない場合は、セラミック基板の加熱面の面積に対する抵抗発熱体の回路の総数が少ないため、一回路が加熱する面積が広く、各回路に異なる電流を供給しても、一回路内において発熱量のばらつきが発生する。その結果、全体として発熱量を精度よく制御することが困難となり、加熱面 1 1 a の温度を均一にすることができない可能性がある。

(1) 式について、例を挙げて説明すると、以下のようになる。

図 1 に示したセラミックヒータ 1 0において、抵抗発熱体 1 2 の回路の総数 n は、最外周の抵抗発熱体 1 2 a ~ 1 2 d の 4 回路と、その内部の抵抗発熱体 1 2 e ~ 1 2 h の 4 回路とで、8 回路である。

セラミック基板の直径が 200 (mm) 以上では、総回路数は 3 以上、直径が 210 (mm) 以上では、総回路数は 4 以上、直径が 300 (mm) 以上では、総回路数は 7 以上であることが望ましい。

ここで、セラミック基板 1 1 の直径が 300 (mm) であるとすると、 $n \geq 3.2$ となる。すなわち、総回路数は 4 以上であればよく、セラミックヒータ 1 0 は上記 (1) 式の関係を満たすことになる。

一方、セラミック基板 1 1 の直径が 500 (mm) であるとすると、 $n \geq 8.6$ となる。すなわち、総回路数は 9 以上必要であり、セラミックヒータ 1 0 は上記 (1) 式の関係を満たさず、さらに小さな回路に分割される必要があることが分かる。

すなわち、上記 (1) 式の関係を満たすには、セラミック基板の直径が大きく

なるにつれて、抵抗発熱体の総回路数を増加させる必要があるということになる。

また、最外周に形成する抵抗発熱体の回路数と、その内部に形成する抵抗発熱体の回路数とは、±1以内であることが望ましい。最外周の回路数が極端に多いと、その内部の回路数が少ないとことになるため、セラミック基板内部で精度よい発熱量制御をすることが困難となり、最外周の回路数が少なければ、外周部での精度よい温度制御をすることができないからである。

第一の本発明においては、抵抗発熱体をセラミック基板の表面（底面）に形成してもよく、抵抗発熱体をセラミック基板の内部に埋設してもよい。

抵抗発熱体をセラミック基板11の表面に形成する場合には、金属粒子を含む導電ペーストをセラミック基板11の表面に塗布して所定パターンの導体ペースト層を形成した後、これを焼き付け、セラミック基板11の表面で金属粒子を焼結させる方法が好ましい。なお、金属の焼結は、金属粒子同士および金属粒子とセラミックとが融着していれば充分である。

セラミック基板11の表面に抵抗発熱体を形成する場合には、この抵抗発熱体の厚さは、1～30μmが好ましく、1～10μmがより好ましい。また、セラミック基板11の内部に抵抗発熱体を形成する場合には、その厚さは、1～50μmが好ましい。

また、セラミック基板11の表面に抵抗発熱体を形成する場合には、抵抗発熱体の幅は、0.1～20mmが好ましく、0.1～5mmがより好ましい。また、セラミック基板11の内部に抵抗発熱体を形成する場合には、抵抗発熱体の幅は、5～20μmが好ましい。

抵抗発熱体は、その幅や厚さにより抵抗値に変化を持たせることができるが、上記した範囲が最も実用的である。抵抗値は、薄く、また、細くなる程大きくなる。抵抗発熱体は、セラミック基板11の内部に形成した場合の方が、厚み、幅とも大きくなるが、抵抗発熱体を内部に設けると、加熱面と抵抗発熱体との距離が短くなり、表面の温度の均一性が低下するため、抵抗発熱体自体の幅を広げる必要があること、内部に抵抗発熱体を設けるために、窒化物セラミック等との密着性を考慮する必要性がないため、タングステン、モリブデンなどの高融点金属やタングステン、モリブデンなどの炭化物を使用することができ、抵抗値を高く

することが可能となるため、断線等を防止する目的で厚み自体を厚くしてもよい。そのため、抵抗発熱体は、上記した厚みや幅とすることが望ましい。

抵抗発熱体の形成位置をこのように設定することにより、抵抗発熱体から発生した熱が伝搬していくうちに、セラミック基板全体に拡散し、被加熱物（半導体ウエハ）を加熱する面の温度分布が均一化され、その結果、被加熱物の各部分における温度が均一化される。

抵抗発熱体は、断面が矩形であっても橿円であってもよいが、偏平であること が望ましい。偏平の方が加熱面に向かって放熱しやすいため、加熱面の温度分布ができるにくいかからである。

10 断面のアスペクト比（抵抗発熱体の幅／抵抗発熱体の厚さ）は、10～500 であることが望ましい。

この範囲に調整することにより、抵抗発熱体の抵抗値を大きくすることができるとともに、加熱面の温度の均一性を確保することができるからである。

15 抵抗発熱体の厚さを一定とした場合、アスペクト比が上記範囲より小さいと、セラミック基板11の加熱面方向への熱の伝搬量が小さくなり、抵抗発熱体のパターンに近似した熱分布が加熱面に発生してしまい、逆にアスペクト比が大きすぎると抵抗発熱体の中央の直上部分が高温となってしまい、結局、抵抗発熱体のパターンに近似した熱分布が加熱面に発生してしまう。従って、温度分布を考慮すると、断面のアスペクト比は、10～5000であることが好ましいのである。

20 抵抗発熱体をセラミック基板11の表面に形成する場合は、アスペクト比を10～200、抵抗発熱体をセラミック基板11の内部に形成する場合は、アスペクト比を200～5000とすることが望ましい。

25 抵抗発熱体は、セラミック基板11の内部に形成した場合の方が、アスペクト比が大きくなるが、これは、抵抗発熱体を内部に設けると、加熱面と抵抗発熱体との距離が短くなり、表面の温度均一性が低下するため、抵抗発熱体自体を偏平にする必要があるからである。

第一の本発明の抵抗発熱体をセラミック基板11の内部に偏芯して形成する場合の位置は、セラミック基板11の加熱面11aに対向する底面11bに近い位置で、加熱面11aから底面11bまでの距離に対して50%を超える、99%ま

での位置とすることが望ましい。

50 %以下であると、加熱面に近すぎるため、温度分布が発生してしまい、逆に、99 %を超えると、セラミック基板11自体に反りが発生して、半導体ウエハが破損するからである。

5 また、抵抗発熱体をセラミック基板11の内部に形成する場合には、抵抗発熱体形成層を複数層設けてもよい。この場合は、各層のパターンは、相互に補完するようにどこかの層に抵抗発熱体が形成され、加熱面の上方から見ると、どの領域にもパターンが形成されている状態が望ましい。このような構造としては、例えば、互いに千鳥の配置になっている構造が挙げられる。

10 導体ペーストとしては特に限定されないが、導電性を確保するための金属粒子または導電性セラミックが含有されているほか、樹脂、溶剤、増粘剤などを含むものが好ましい。

15 上記金属粒子としては、例えば、貴金属（金、銀、白金、パラジウム）、鉛、タンクスチン、モリブデン、ニッケルなどが好ましく、中でも、貴金属（金、銀、白金、パラジウム）がより好ましい。また、これらは、単独で用いてもよいが、2種以上を併用することが望ましい。これらの金属は、比較的酸化しにくく、発熱するに充分な抵抗値を有するからである。

20 上記導電性セラミックとしては、例えば、タンクスチン、モリブデンの炭化物などが挙げられる。これらは、単独で用いてもよく、2種以上を併用してもよい。

これら金属粒子または導電性セラミック粒子の粒径は、0.1～100 μmが好ましい。0.1 μm未満と微細すぎると、酸化されやすく、一方、100 μmを超えると、焼結しにくくなり、抵抗値が大きくなるからである。

上記金属粒子の形状は、球状であっても、リン片状であってもよい。これらの金属粒子を用いる場合、上記球状物と上記リン片状物との混合物であってよい。

25 上記金属粒子がリン片状物、または、球状物とリン片状物との混合物の場合は、金属粒子間の金属酸化物を保持しやすくなり、抵抗発熱体と窒化物セラミック等との密着性を確実にし、かつ、抵抗値を大きくすることができるため有利である。

導体ペーストに使用される樹脂としては、例えば、エポキシ樹脂、フェノール樹脂などが挙げられる。また、溶剤としては、例えば、イソプロピルアルコール

などが挙げられる。増粘剤としては、セルロースなどが挙げられる。

導体ペーストには、上記したように、金属粒子に金属酸化物を添加し、抵抗発熱体を金属粒子および金属酸化物を焼結させたものとすることが望ましい。このように、金属酸化物を金属粒子とともに焼結させることにより、セラミック基板
5 である窒化物セラミックまたは炭化物セラミックと金属粒子とを密着させることができる。

金属酸化物を混合することにより、窒化物セラミックまたは炭化物セラミックと密着性が改善される理由は明確ではないが、金属粒子表面や窒化物セラミック、炭化物セラミックの表面は、わずかに酸化されて酸化膜が形成されており、この
10 酸化膜同士が金属酸化物を介して焼結して一体化し、金属粒子と窒化物セラミックまたは炭化物セラミックとが密着するのではないかと考えられる。

上記金属酸化物としては、例えば、酸化鉛、酸化亜鉛、シリカ、酸化ホウ素 (B_2O_3)、アルミナ、イットリアおよびチタニアからなる群から選ばれる少なくとも1種が好ましい。

15 これらの酸化物は、抵抗発熱体の抵抗値を大きくすることなく、金属粒子と窒化物セラミックまたは炭化物セラミックとの密着性を改善することができるからである。

上記酸化鉛、酸化亜鉛、シリカ、酸化ホウ素 (B_2O_3)、アルミナ、イットリア、チタニアの割合は、金属酸化物の全量を100重量部とした場合、重量比で、
20 酸化鉛が1～10、シリカが1～30、酸化ホウ素が5～50、酸化亜鉛が20～70、アルミナが1～10、イットリアが1～50、チタニアが1～50であって、その合計が100重量部を超えない範囲で調整されていることが望ましい。

これらの範囲で、これらの酸化物の量を調整することにより、特に窒化物セラミックとの密着性を改善することができる。

25 上記金属酸化物の金属粒子に対する添加量は、0.1重量%以上10重量%未満が好ましい。

また、抵抗発熱体を形成した際の面積抵抗率は、0.1～10Ω/□が好ましい。面積抵抗率が0.1Ω/□未満の場合、発熱量を確保するために、抵抗発熱体パターンの幅を0.1～1mm程度と非常に細くしなければならず、このため、

パターンのわずかな欠け等で断線したり、抵抗値が変動し、また、面積抵抗率が $10 \Omega/\square$ を超えると、抵抗発熱体パターンの幅を大きくしなければ、発熱量を確保できず、その結果、パターン設計の自由度が低下し、加熱面の温度を均一にすることが困難となるからである。

5 抵抗発熱体がセラミック基板 1 1 の表面に形成される場合には、抵抗発熱体の表面部分に、金属被覆層（図 2 参照）1 2 0 が形成されていることが望ましい。内部の金属焼結体が酸化されて抵抗値が変化するのを防止するためである。形成する金属被覆層 1 2 0 の厚さは、 $0.1 \sim 10 \mu\text{m}$ が好ましい。

10 金属被覆層 1 2 0 を形成する際に使用される金属は、非酸化性の金属であれば特に限定されないが、具体的には、例えば、金、銀、パラジウム、白金、ニッケルなどが挙げられる。これらは、単独で用いてもよく、2種以上を併用してもよい。これらのなかでは、ニッケルが好ましい。

15 抵抗発熱体 1 2 には、電源と接続するための端子が必要であり、この端子は、半田を介して抵抗発熱体 1 2 に取り付けるが、ニッケルは、半田の熱拡散を防止するからである。接続端子としては、例えば、コバール製の外部端子 3 3 が挙げられる。

20 なお、抵抗発熱体をセラミック基板 1 1 の内部に形成する場合には、抵抗発熱体表面が酸化されないため、被覆は不要である。抵抗発熱体をセラミック基板 1 1 内部に形成する場合、抵抗発熱体の一部が表面に露出していてもよく、抵抗発熱体を接続するためのスルーホールが端子部分に設けられ、このスルーホールに端子が接続、固定されていてもよい。

接続端子を接続する場合、半田としては、銀-鉛、鉛-スズ、ビスマス-スズなどの合金を使用することができる。なお、半田層の厚さは、 $0.1 \sim 50 \mu\text{m}$ が好ましい。半田による接続を確保するのに充分な範囲だからである。

25 また、第一の本発明のセラミックヒータは、セラミック基板の温度を測定する測温素子と、上記複数の回路からなる抵抗発熱体に電力を供給する制御部と、上記測温素子により測定された温度データを記憶する記憶部と、上記温度データから上記抵抗発熱体に必要な電力を演算する演算部とを備え、上記抵抗発熱体の複数の回路には、それぞれ異なる電力が供給されるように構成されていることが望

ましい。

演算部を有するため、急激な温度変化（外乱）があった場合でも、測温結果に基づいて、発熱体の各回路に必要な電力を正確に演算できるため、所望の設定温度に制御することができるからである。

5 図3は、第一の本発明の一例であるセラミックヒータ40の概略を示したプロック図である。

セラミックヒータ40において、セラミック基板41は、円板状に形成されており、セラミック基板41の加熱面41aの全体の温度が均一になるように加熱するため、セラミック基板41の底面41bの最外周には、同心円が円周方向に10 分割され形成された、円弧の繰り返しパターンの抵抗発熱体42aが外周を取り囲むように配設され、その内側には同心円形状のパターンの抵抗発熱体42bが形成されている。なお、抵抗発熱体42（42a、42b）は、その両端に入出力の端子となる外部端子43が金属被覆層420を介して接続されている。また、15 外部端子43には、ソケット20が取り付けられ、このソケット20は、電源を有する制御部に接続されている。また、中央に近い部分には、半導体ウェハ39を支持するリフターピン36を挿通するための貫通孔45が形成され、さらに、測温素子としての熱電対47を挿入するための有底孔44が形成されている。

また、セラミック基板41には、底面41b側から有底孔44が設けられ、この有底孔44の底には、測温素子としての熱電対47が固定されている。この熱20 電対47は、記憶部21に接続され、各熱電対47の温度を一定時間毎に測定し、そのデータを記憶することができるようになっている。そして、この記憶部21は、制御部23に接続されるとともに、演算部22に接続され、記憶部21に記憶されたデータに基づき、演算部22で制御する電圧値等の計算を行い、これに基づき、制御部23から各抵抗発熱体42に対して所定の電圧を印加し、加熱面25 41aの温度を均一化することができるようになっている。

次に、上記したセラミックヒータ40の動作について、説明する。

まず、制御部23を作動させることによりセラミックヒータ40に電力を投入すると、セラミック基板41自体の温度が上がり始めるが、外周部の方の表面温度がやや低温になる。

熱電対 4 7 で測温したデータは、記憶部 2 1 に一端格納される。次に、この温度データは演算部 2 2 に送られ、演算部 2 2 において、各測定点における温度の差 ΔT を演算し、さらに、加熱面 4 1 a の温度の均一化のために必要なデータ ΔW を演算する。

5 例えれば、抵抗発熱体 4 2 a と抵抗発熱体 4 2 b における温度差 ΔT があり、抵抗発熱体 4 2 a の方が低ければ、 ΔT を 0 にするような電力データ ΔW を演算し、これを制御部 2 3 に送信して、これに基づいた電力を抵抗発熱体 4 2 a に投入して昇温させるのである。

10 電力の計算アルゴリズムについては、セラミック基板 4 1 の比熱と加熱域の重量から昇温に必要な電力を演算する方法が最も簡便であり、これに抵抗発熱体パターンに起因する補正係数を加味してもよい。また、予め、特定の抵抗発熱体パターンについて昇温試験を行い、測温位置、投入電力、温度の関数を予め求めておき、この関数から投入電力を演算してもよい。そして、演算部 2 2 で演算された電力に対応する印加電圧と時間とを制御部 2 3 に送信し、制御部 2 3 でその値 15 に基づいて各抵抗発熱体 4 2 に電力を投入することになる。

20 また、温度制御方法については、上記方法を用いることが望ましいが、例えれば、抵抗発熱体の各回路毎で、所定の設定温度を超えると電力の供給が停止し、所定の設定温度未満となると電力の供給を再開する制御等を用いてもよく、供給する電力については、演算等を行わず、供給時は電力を一定とする制御等を用いてもよい。また、温度制御方法については、これらに限定されない。

第一の本発明のセラミックヒータ 1 0 を形成するセラミックは、窒化物セラミックまたは炭化物セラミックであることが望ましい。

25 窒化物セラミックや炭化物セラミックは、熱膨張係数が金属よりも小さく、機械的な強度が金属に比べて格段に高いため、セラミック基板 1 1 の厚さを薄くしても、加熱により反ったり、歪んだりしない。そのため、セラミック基板 1 1 を薄くて軽いものとすることができます。さらに、セラミック基板 1 1 の熱伝導率が高く、セラミック基板自体が薄いため、セラミック基板の表面温度が、抵抗発熱体の温度変化に迅速に追従する。即ち、電圧、電流値を変えて抵抗発熱体 1 2 の温度を変化させることにより、セラミック基板の表面温度を制御することができ

るのである。

また、窒化物セラミックや炭化物セラミックは、熱伝導率が高いため、発熱体パターンに起因する温度のばらつきが生じやすいため、酸化物セラミックに比べて、第一の本発明の構成が有効に機能する。

5 上記窒化物セラミックとしては、例えば、窒化アルミニウム、窒化ケイ素、窒化ホウ素、窒化チタン等が挙げられる。これらは、単独で用いてもよく、2種以上を併用してもよい。

また、炭化物セラミックとしては、例えば、炭化ケイ素、炭化ジルコニウム、炭化チタン、炭化タンタル、炭化タンクスチタン等が挙げられる。これらは、単独
10 で用いてもよく、2種以上を併用してもよい。

これらのなかでは、窒化アルミニウムが最も好ましい。熱伝導率が $180\text{ W}/\text{m}\cdot\text{K}$ と最も高く、温度追従性に優れるからである。

なお、セラミック基板として窒化物セラミックまたは炭化物セラミック等を使用する際、必要により、絶縁層を形成してもよい。窒化物セラミックは酸素固溶等により、高温で体積抵抗値が低下しやすく、また炭化物セラミックは特に高純度化しない限り導電性を有しており、絶縁層を形成することにより、高温時あるいは不純物を含有していても回路間の短絡を防止して温度制御性を確保できるからである。

上記絶縁層としては、酸化物セラミックが望ましく、具体的には、シリカ、アルミナ、ムライト、コージェライト、ベリリア等を使用することができる。
20

このような絶縁層としては、アルコキシドを加水分解重合させたゾル溶液をセラミック基板にスピンドルコートして乾燥、焼成を行ったり、スペッタリング、CVD等で形成してもよい。また、セラミック基板表面を酸化処理して酸化物層を設けてもよい。

25 上記絶縁層は、 $0.1 \sim 1000\mu\text{m}$ であることが望ましい。 $0.1\mu\text{m}$ 未満では、絶縁性を確保できず、 $1000\mu\text{m}$ を超えると抵抗発熱体からセラミック基板への熱伝導性を阻害してしまうからである。

さらに、上記絶縁層の体積抵抗率は、上記セラミック基板の体積抵抗率の 10 倍以上（同一測定温度）であることが望ましい。10倍未満では、回路の短絡を

防止できないからである。

セラミック基板11の厚さは、0.5～5mmが好ましい。0.5mmより薄いと、強度が低下するため破損しやすくなり、一方、5mmより厚くなると、熱が伝搬しにくくなり、加熱の効率が悪くなる。

5 また、セラミック基板11の直径は、200mm以上が望ましい。大きな直径を持つセラミック基板ほど加熱面の温度が不均一化しやすいため、第一の本発明の構成が有効に機能するからである。また、このような大きな直径を持つ基板は、大口径の半導体ウエハを載置することができるからである。

セラミック基板の直径は、特に12インチ(300mm)以上であることが望
10 ましい。次世代の半導体ウエハの主流となるからである。

第一の本発明のセラミックヒータ10において、セラミック基板11には、被加熱物を載置する加熱面11aの反対側から加熱面11aに向けて有底孔14を設けるとともに、有底孔14の底を抵抗発熱体12よりも相対的に加熱面11aに近く形成し、この有底孔14に熱電対17等の測温素子を設けることが望ましい。

15 また、有底孔14の底と加熱面11aとの距離は、0.1mm～セラミック基板の厚さの1/2であることが望ましい。

これにより、測温場所が抵抗発熱体12よりも加熱面11aに近くなり、より正確な半導体ウエハの温度の測定が可能となるからである。

有底孔14の底と加熱面11aとの距離が0.1mm未満では、放熱してしまい、加熱面11aに温度分布が形成され、厚さの1/2を超えると、抵抗発熱体の温度の影響を受けやすくなり、温度制御できなくなり、やはり加熱面11aに温度分布が形成されてしまうからである。

25 有底孔14の直径は、0.3mm～5mmであることが望ましい。これは、大きすぎると放熱性が大きくなり、また小さすぎると加工性が低下して加熱面11aとの距離を均等にすることが難しくなるからである。

有底孔14は、図1に示したように、セラミック基板11の中心に対して対称で、かつ、十字を形成するように複数配列することが望ましい。これは、加熱面全体の温度を測定することができるからである。

上記測温素子としては、例えば、熱電対、白金測温抵抗体、サーミスタ等が挙

げられる。

上記熱電対としては、例えば、J I S - C - 1 6 0 2 (1 9 8 0) に挙げられるように、K型、R型、B型、S型、E型、J型、T型熱電対等が挙げられるが、これらのなかでは、K型熱電対が好ましい。

上記熱電対の接合部の大きさは、素線の径と同じが、または、それよりも大きく、0.5 mm以下であることが望ましい。これは、接合部が大きい場合は、熱容量が大きくなつて応答性が低下してしまうからである。なお、素線の径より小さくすることは困難である。

上記測温素子は、金ろう、銀ろうなどを使用して、有底孔14の底に接着してもよく、有底孔14に挿入した後、耐熱性樹脂で封止してもよく、両者を併用してもよい。

上記耐熱性樹脂としては、例えば、熱硬化性樹脂、特にエポキシ樹脂、ポリイミド樹脂、ビスマレイミドートリアジン樹脂などが挙げられる。これらの樹脂は、単独で用いてもよく、2種以上を併用してもよい。

上記金ろうとしては、37～80.5重量%Au-63～19.5重量%Cu合金、81.5～82.5重量%：Au-18.5～17.5重量%：Ni合金から選ばれる少なくとも1種が望ましい。これらは、溶融温度が、900°C以上であり、高温領域でも溶融しにくいためである。

銀ろうとしては、例えば、Ag-Cu系のものを使用することができる。

次に、第一の本発明のセラミックヒータの製造方法について説明する。

図6(a)～(d)は、セラミック基板の底面の抵抗発熱体が形成されたセラミックヒータの製造方法を模式的に示した断面図である。

(1) セラミック基板の作製工程

上述した窒化アルミニウムや炭化珪素などの窒化物等のセラミックの粉末に必要に応じてイットリア (Y_2O_3) や B_4C 等の焼結助剤、Na、Caを含む化合物、バインダ等を配合してスラリーを調製した後、このスラリーをスプレードライ等の方法で顆粒状にし、この顆粒を金型などに入れて加圧することにより板状などに成形し、生成形体(グリーン)を作製する。

次に、この生成形体を加熱、焼成して焼結させ、セラミック製の板状体を製造

する。この後、所定の形状に加工することにより、セラミック基板11を作製するが、焼成後にそのまま使用することができる形状としてもよい(図6(a))。

加圧しながら加熱、焼成を行うことにより、気孔のないセラミック基板11を5 製造することが可能となる。加熱、焼成は、焼結温度以上であればよいが、窒化物セラミックや炭化物セラミックでは、1000～2500°Cである。また、酸化物セラミックでは、1500°C～2000°Cである。

次に、セラミック基板11に、必要に応じて、半導体ウェハを支持するためのリフターピンを挿入する貫通孔15となる部分や熱電対17等の測温素子を埋め込むための有底孔14となる部分を形成する。

10 (2) セラミック基板に導体ペーストを印刷する工程

導体ペーストは、2種以上の貴金属等からなる金属粒子、樹脂、溶剤からなる粘度の高い流動物である。この導体ペーストをスクリーン印刷などを用い、セラミック基板11の最外周に、円周方向に分割された少なくとも2以上の回路となるように導体ペースト層を形成するとともに、最外周に印刷された上記導体ペース15 ト層の内側に、別の回路となる導体ペースト層を形成する。

このとき、セラミック基板11に設ける抵抗発熱体12の回路の総数nと、セラミック基板11の直径r(mm)との間に、下記の(1)式の関係が成り立つ抵抗発熱体パターンとなる導体ペースト層を形成することが望ましい。

$$n \geq r^{1.94} \times 0.5 \times 10^{-4} \dots (1)$$

20 なお、抵抗発熱体パターンとして、セラミック基板の最外周に形成するパターンは、例えば、図1に示した円弧の繰り返しパターン、図4に示した屈曲線の繰り返しパターン等が挙げられる。また、その内部に形成するパターンは、例えば、同心円形状のパターン等が挙げられる。

また、導体ペースト層は、焼成後の抵抗発熱体12の断面が、方形で、偏平な25 形状となるように形成することが望ましい。

(3) 導体ペーストの焼成

セラミック基板11の底面に印刷した導体ペースト層を加熱焼成して、樹脂、溶剤を除去するとともに、金属粒子を焼結させ、セラミック基板11の底面に焼き付け、抵抗発熱体12を形成する(図6(b))。加熱焼成の温度は、500

～1000°Cが好ましい。

導体ペースト中に上述した酸化物を添加しておくと、金属粒子、セラミック基板および酸化物が焼結して一体化するため、抵抗発熱体とセラミック基板との密着性が向上する。

5 (4) 金属被覆層の形成

抵抗発熱体12表面には、金属被覆層120を設ける(図6(c))。金属被覆層120は、電解めっき、無電解めっき、スパッタリング等により形成することができるが、量産性を考慮すると、無電解めっきが最適である。

(5) 端子等の取り付け

10 抵抗発熱体12のパターンの端部に電源との接続のための端子(外部端子33)を半田で取り付ける。また、有底孔14に銀ろう、金ろうなどで熱電対17を固定し、ポリイミド等の耐熱樹脂で封止し、セラミックヒータの製造を終了する(図6(d))。

なお、第一の本発明のセラミックヒータでは、静電電極を設けて静電チャック15としてもよく、チャップトップ導体層を設けてウェハプローバとしてもよい。

次に、第二の本発明および第三の本発明について説明することとする。

なお、第二の本発明と第三の本発明とは、セラミック基板の直径および抵抗発熱体の回路の総数以外の点については、同様であるため、2つの発明の異なる点や効果を先に説明し、その後、第二および第三の本発明をまとめて説明すること20とする。

第二の本発明のセラミックヒータは、直径200mm以上の円板形状のセラミック基板の表面または内部に2以上の回路からなる抵抗発熱体が形成されたセラミックヒータであって、上記抵抗発熱体の少なくとも一の回路は、円周方向に分割されてなり、かつ、同心円または渦巻きパターンを含み、さらに、上記抵抗発熱体の回路の総数は、3以上であることを特徴とする。

第二の本発明のセラミックヒータでは、セラミック基板の直径が200mm以上であり、上記セラミック基板に形成された抵抗発熱体の回路の総数が3以上である。

直径200mm以上のセラミック基板では、上述のように、加熱面の温度が不

均一となりやすいため、局所的にホットスポットやクーリングスポット等の特異点が発生するおそれがあり、このような特異点の温度を制御するため、抵抗発熱体の回路の総数を3以上にする必要があるからである。

また、同様の理由で、直径が300mm以上では、抵抗発熱体の回路の総数が5以上であることが望ましい。

さらに、抵抗発熱体の回路の総数は、20を上限とすることが望ましい。

上記総数が20を超えると、互いに干渉し合って温度制御が困難となるからである。

第三の本発明のセラミックヒータは、円板形状のセラミック基板の表面または10 内部に2以上の回路からなる抵抗発熱体が形成されたセラミックヒータであって、上記抵抗発熱体の少なくとも一の回路は円周方向に分割されてなり、かつ、同心円を含み、さらに、上記抵抗発熱体の回路の総数nと上記セラミック基板の直径r (mm)との間には、下記の(2)式の関係が成り立つことを特徴とする。

$$n \geq r^{1.94} \times 10^{-4} \dots (2)$$

15 第三の本発明のセラミックヒータでは、抵抗発熱体の回路の総数nとセラミック基板の直径r (mm)との間に上記(2)式が成立するので、セラミック基板の加熱面の面積に対する抵抗発熱体の回路の総数が充分に多くなり、一回路で加熱する面積が適切な範囲となり、一回路内における発熱量のばらつきを小さくすることができ、細かい発熱量の制御を容易に精度よく行うことができる。その結果、例えば、回路の境界部分において、クーリングスポット等の低温領域が発生するのを防止することができ、セラミックヒータの加熱面の温度を均一化することが可能となる。従って、被加熱物を均一に加熱することができ、例えば、半導体ウエハ上の樹脂硬化物の硬化度を均一にすことができ、また、半導体ウエハの破損を防止することができる。

20 第三の本発明のセラミックヒータにおける、セラミック基板の直径と、抵抗発熱体の回路の総数との関係を示す上記(2)式について、例を挙げて説明する。

円板形状のセラミック基板に回路の総数が6となる抵抗発熱体が形成されたセラミックヒータについて考えてみる。

まず、セラミック基板の直径が210 (mm)の場合、この直径を上記(2)

式に代入すると、 $n \geq 3, 2$ となる。すなわち、総回路数は4以上であればよく、このセラミックヒータは上記(2)式の関係を満たすことになる。

一方、セラミック基板11の直径が300(mm)の場合、この直径を上記(2)式に代入すると、 $n \geq 6, 4$ となる。すなわち、総回路数は7以上必要であり、このセラミックヒータは上記(2)式の関係を満たさず、さらに小さな回路に分割する必要があることが分かる。

すなわち、上記(2)式の関係を満たすには、セラミック基板の直径が大きくなるにつれて、抵抗発熱体の総回路数を増加させる必要があり、セラミック基板の直径が200(mm)以上のセラミックヒータでは、3以上の回路が必要となり、セラミック基板の直径が210(mm)のセラミックヒータでは、4以上の回路が必要となり、セラミック基板の直径が300(mm)のセラミックヒータでは、7以上の回路が必要であるということになる。

第二および第三の本発明のセラミックヒータは、円周方向に2以上の回路に分割された抵抗発熱体を有しているが、このような構成としたのは、例えば、同心円のみで構成される回路では、加熱面の温度を制御することが困難であるからである。このように、上記抵抗発熱体を円周方向に2以上の回路に分割して制御を行うことにより、同一円周上の温度分布の不均一さを無くすことができ、被加熱物を加熱する面(加熱面)の温度を均一化することができる。特に外周付近では、放熱のために温度が不均一化しやすいため、外周部分の回路は、円周方向に2以上の回路に分割されていることが望ましい。

この場合、円周方向に2以上の回路に分割された上記抵抗発熱体は、外周部分の全体に存在している必要はなく、外周部分の領域に存在していればよい。

また、外周部分の円周方向に分割された抵抗発熱体は、最外周のパターンであることがより望ましい。最外周の部分が、最も温度が不均一となりやすく、この部分の温度を制御する必要があるからである。ただし、このことは、外周部分に形成された、円周方向に分割された抵抗発熱体のさらに外周に抵抗発熱体を形成することを否定するものではない。

さらに、円周方向に2以上の回路に分割された抵抗発熱体は、外周部分のみならず、内側部分に存在していてもよい。

ただし、特開平8-125001号公報におけるセラミックヒータのように、抵抗発熱体92a～92lが内側部分と外側部分とで連続しており、かつ、円周方向に分割された回路である場合（図10参照）は、第二および第三の本発明のセラミックヒータには含まれない。このような構成のセラミックヒータは、セラミック基板の内側部分の直径方向で温度が不均一となるとともに、上記セラミック基板の反りが発生しやすいからである。

上記セラミック基板の反り量は、 $60\mu m$ 以下であることが望ましい。

上記反り量が $60\mu m$ を超えると、被加熱物である半導体ウエハとセラミック基板との間で距離のばらつきが大きくなるため、半導体ウエハを均一に加熱することができないからである。

また、半導体ウエハを加熱する方法としては、上記半導体ウエハをセラミック基板に直接載置し、加熱する方法と、上記半導体ウエハと上記セラミック基板とを $5\sim 5000\mu m$ 離間させて加熱する方法の2種類があるが、いずれにせよ、セラミック基板の反り量は $60\mu m$ 以下がよい。

また、第二および第三の本発明のセラミックヒータは、同心円または渦巻きパターンの抵抗発熱体を有している。抵抗発熱体をこのようなパターンにすることにより、セラミック基板の直径方向の温度の不均一を解消することができるとともに、セラミック基板の反りも防止することができる。

特に内側部分（セラミック基板の半径の $1/2$ から内側の部分）では、円周方向よりも直径方向の温度が不均一化しやすいため、内側部分の回路は、同心円または渦巻きパターンであることが望ましい。

なお、上記セラミック基板の内側部分には、円周方向に2以上の回路に分割された抵抗発熱体と同心円または渦巻きパターンの抵抗発熱体とを混在させてもよい。セラミック基板の内側部分の温度の不均一が解消されるとともに、セラミック基板の反りも防止することができるからである。

従って、第二および第三の本発明のセラミックヒータでは、外周部分に、円周方向に2以上の回路に分割された抵抗発熱体を形成し、内側部分には、同心円または渦巻きパターンの抵抗発熱体を形成することが望ましい。

これらの抵抗発熱体が一体的に作用することにより、セラミック基板の加熱面

の温度が均一となるとともに、セラミック基板に反りが発生せず、セラミック基板と半導体ウェハとの距離が一定となり、半導体ウェハを均一に加熱することができる。

また、第二および第三の本発明のセラミックヒータでは、特に、温度が上昇する過程（過渡特性）において生じるセラミック基板の加熱面での温度の不均一を解消することができる。

第三の本発明のセラミックヒータでは、図1に示すように、セラミック基板11の直径が210 (mm) であるとすると、上述のように、回路の総数は4以上が必要となるが、このセラミックヒータ10においては、抵抗発熱体は、抵抗発熱体12a～12hの8回路から構成されており、この場合、上記(2)式が成立し、精度よく抵抗発熱体の発熱量をコントロールすることができ、加熱面の温度を均一にすることができる。

また、第三の本発明のセラミックヒータでは、図4に示すように、セラミック基板51の直径が210 (mm) であるとすると、回路の総数は4以上が必要となるが、このセラミックヒータ50においては、抵抗発熱体は、抵抗発熱体52a～52hの8回路から構成されており、上記(1)式が成立し、精度よく抵抗発熱体の発熱量をコントロールすることができ、加熱面の温度を均一にすることができる。

第二および第三の本発明のセラミックヒータに形成される抵抗発熱体の回路の総数は、上述したように、セラミック基板の直径が210 (mm) のセラミックヒータでは、4以上であり、セラミック基板の直径が300 (mm) のセラミックヒータでは、7以上であるが、その上限は特に限定されるものではない。しかし、製造工程の煩雑さを避け、製造コストを抑え、また、抵抗発熱体の制御をなるべく簡単に行う観点からいうと、抵抗発熱体の回路の総数は、セラミック基板の直径が210 (mm) の場合、10以下が望ましい。また、セラミック基板の直径が300 (mm) の場合、20以下が望ましい。

抵抗発熱体のパターンとしては、少なくとも一の回路が円周方向に分割されたり、かつ、同心円または渦巻きパターンを含んでいれば、特に限定されず、例えば、図1に示した、円弧の繰り返しパターンと同心円形状のパターンとを併用

したパターン、図4に示した、最外周に屈曲線の繰り返しパターンである抵抗発熱体52a～52dが形成され、その内部に同心円形状のパターンである抵抗発熱体52e～52hが形成されたパターン等が挙げられる。

また、例えば、渦巻き状のパターン、偏心円状のパターン、屈曲線の繰り返しパターン等も用いることができ、これらを併用してもよく、これらと図1または図4に示したパターンとを併用してもよい。

この中でも、放熱の大きいセラミック基板の外周部分において、より細かい発熱量制御を行うことができる点から、図1に示した、円弧の繰り返しパターンと同心円形状のパターンとを併用したパターンや、図4に示した、屈曲線の繰り返しパターンと同心円形状のパターンとを併用したパターンのように、セラミック基板の最外周には、円周方向に少なくとも2以上の回路からなる抵抗発熱体が配置されるとともに、最外周に配置された上記抵抗発熱体の内側に、別の回路からなる抵抗発熱体が形成されているパターンが望ましい。

円周方向に分割されたパターンとは、セラミック基板の中心から外周に向けて複数の線分を引き、その線分により分割された領域に形成されたパターンである。通常、その領域は全て同じ大きさが望ましい。また、分割数は、図1に示したように、4分割に限定されず、2分割以上であれば、3分割でも5分割でもよい。通常、セラミック基板の大きさが大きくなるに従って、分割数を多くすることが望ましい。

なお、図1、図4において、抵抗発熱体12a～12d、52a～52dが最外周に配置された抵抗発熱体であるが、このような最外周の抵抗発熱体は、外周から中心までの距離に対し、中心から90%以上の領域に形成されていることが望ましい。90%未満であると、最外周に形成された抵抗発熱体の領域が広くなりすぎるため、加熱面の温度の制御が難しくなるからである。

第二および第三の本発明のセラミックヒータは、100～800°Cで使用されることが望ましい。

また、最外周に形成する抵抗発熱体の回路数と、その内部に形成する抵抗発熱体の回路数との差は、±1以内であることが望ましい。最外周の回路数が極端に多いと、その内部の回路数が少ないとなるため、セラミック基板内部で精度

よい発熱量制御をすることが困難となり、最外周の回路数が少なければ、外周部での精度よい温度制御をすることができないからである。

図3に示したように、セラミックヒータ40において、セラミック基板41は、円板状に形成されており、セラミック基板41の底面41bに抵抗発熱体42が形成されている。
5

セラミック基板41の加熱面41aの全体の温度が均一になるように加熱するため、セラミック基板41の底面41bの最外周には、同心円が円周方向に分割されて形成された、円弧の繰り返しパターンの抵抗発熱体42aが外周を取り囲むように配設され、その内側には同心円形状のパターンの抵抗発熱体42bが形成されている。
10

第三の本発明のセラミックヒータにおいて、セラミック基板41の直径が210 (mm) あるとすると、上述のように、回路の数nは、4以上であればよいが、セラミックヒータ40は、図1に示したセラミックヒータと同様のパターンが形成されており、総回路数は8であり、(2)式の関係を満たしている。

15 第三の本発明において、セラミック基板11の直径は、200 mm以上が望ましい。大きな直径を持つセラミック基板ほど加熱面の温度が不均一化しやすいため、本発明の構成が有効に機能するからである。また、このような大きな直径を持つ基板は、大口径の半導体ウエハを載置することができるからである。

セラミック基板の直径は、特に12インチ (300 mm) 以上であることが望ましい。次世代の半導体ウエハの主流となるからである。
20

また、第二および第三の本発明のセラミックヒータにおける、上述した以外の抵抗発熱体、セラミック基板、有底孔、測温素子等の構成に関しては、第一の本発明のセラミックヒータの場合と同様であるので、その説明を省略する。

次に、第二および第三の本発明のセラミックヒータの製造方法を図6(a)～
25 (d)に基づいて説明する。

なお、第二および第三の本発明のセラミックヒータの製造方法では、(2)セラミック基板に導体ペーストを印刷する工程以外については、第一の本発明のセラミックヒータの製造方法と同様であるため、(1)セラミック基板の作製工程、(3)導体ペーストの焼成、(4)金属被覆層の形成、(5)端子等の取り付け

の工程については、その説明を省略することとし、(2)の工程について詳細に説明することとする。

(2) セラミック基板に導体ペーストを印刷する工程

導体ペーストは、2種以上の貴金属等からなる金属粒子、樹脂、溶剤からなる
5 粘度の高い流動物である。この導体ペーストをスクリーン印刷などを用い、セラ
ミック基板11に設ける抵抗発熱体12の回路の総数nと、セラミック基板11
の直径r(mm)との間に、下記の(2)式の関係が成り立つ抵抗発熱体パター
ンとなる導体ペースト層を形成する。

$$n \geq r^{1.94} \times 10^{-4} \dots (2)$$

10 このとき、セラミック基板11の最外周に、円周方向に分割された少なくとも
2以上の回路となるように導体ペースト層を形成するとともに、最外周に印刷され
た上記導体ペースト層の内側に、別の回路となる導体ペースト層を形成すること
が望ましい。なお、抵抗発熱体パターンとして、セラミック基板の最外周に形成
するパターンは、例えば、図1に示した円弧の繰り返しパターン、図4に示した
15 屈曲線の繰り返しパターン等が挙げられる。また、その内部に形成するパターン
は、例えば、同心円形状のパターン等が挙げられる。

また、導体ペースト層は、焼成後の抵抗発熱体12の断面が、方形で、偏平な
形状となるように形成することが望ましい。

なお、第二および第三の本発明のセラミックヒータでは、静電電極を設けて静
20 電チャックとしてもよく、チャップトップ導体層を設けてウェハプローバ用のチ
ャックトップ板としてもよい。

発明を実施するための最良の形態

以下、本発明をさらに詳細に説明する。

25 (実施例1) 窒化アルミニウム製のセラミックヒータ(図1、2参照)の製造

(1) 窒化アルミニウム粉末(平均粒径: 1.1μm)100重量部、イット
リア(平均粒径: 0.4μm)4重量部、アクリル系バインダ12重量部および
アルコールからなる組成物のスプレードライを行い、顆粒状の粉末を作製した。

(2) 次に、この顆粒状の粉末を金型に入れ、平板状に成形して生成形体(グ

リーン)を得た。

(3) 加工処理の終った生成形体を1800°C、圧力: 20 MPaでホットプレスし、厚さが3mmの窒化アルミニウム板状体を得た。

次に、この板状体から直径310mmの円板体を切り出し、セラミック製の板状体(セラミック基板)11とした。

この成形体にドリル加工を施し、半導体ウェハを支持するリフターピンを挿入する貫通孔15となる部分、熱電対およびウェハを支持する支持ピンを埋め込むための有底孔14となる部分(直径: 1.1mm、深さ: 2mm)を形成した(図6(a))。

(4) 上記(3)で得たセラミック基板11に、スクリーン印刷にて導体ペーストを印刷した。印刷パターンとして、図1に示したように、最外周に同心円が円周方向に分割され形成された円弧の繰り返しパターンと、その内側に同心円状のパターンとを形成した。

また、パターン内の回路の総数は8とした。

なお、円周方向に分割されたパターンは、セラミック基板の半径の1/2より外側の部分に形成した。

これは、セラミック基板11に設けた抵抗発熱体12の回路の総数nとセラミック基板11の直径r(mm)との間に、下記の(1)式の関係が成り立つよう設定した値である。

$$n \geq r^{1.94} \times 0.5 \times 10^{-4} \dots (1)$$

導体ペーストとしては、プリント配線板のスルーホール形成に使用されている徳力化学研究所製のソルベストPS603Dを使用した。

この導体ペーストは、銀-鉛ペーストであり、銀100重量部に対して、酸化鉛(5重量%)、酸化亜鉛(55重量%)、シリカ(10重量%)、酸化ホウ素(25重量%)およびアルミナ(5重量%)からなる金属酸化物を7.5重量部含むものであった。また、銀粒子は、平均粒径が4.5μmで、リン片状のものであった。

(5) 次に、導体ペーストを印刷したセラミック基板11を780°Cで加熱、

焼成して、導体ペースト中の銀、鉛を焼結させるとともにセラミック基板11に焼き付け、抵抗発熱体12を形成した(図6(b))。

銀一鉛の抵抗発熱体12は、厚さが $5\text{ }\mu\text{m}$ 、幅 2.4 mm 、面積抵抗率が $7.7\text{ m}\Omega/\square$ であった。

5 (6) 硫酸ニッケル $80\text{ g}/1$ 、次亜リン酸ナトリウム $24\text{ g}/1$ 、酢酸ナトリウム $12\text{ g}/1$ 、ほう酸 $8\text{ g}/1$ 、塩化アンモニウム $6\text{ g}/1$ の濃度の水溶液からなる無電解ニッケルめっき浴に上記(5)で作製したセラミック基板11を浸漬し、銀一鉛の抵抗発熱体12の表面に厚さ $1\text{ }\mu\text{m}$ の金属被覆層(ニッケル層)を析出させた(図6(c))。

10 (7) 電源との接続を確保するための端子を取り付ける部分に、スクリーン印刷により、銀一鉛半田ペースト(田中貴金属社製)を印刷して半田層を形成した。

ついで、半田層の上にコバール製の外部端子33を載置して、 420°C で加熱リフローし、外部端子33を抵抗発熱体12の表面に取り付けた。

15 (8) 温度制御のための熱電対を有底孔14にはめ込み、セラミック接着剤(東亜合成社製アロンセラミック)を埋め込んで固定しセラミックヒータ10を得た(図6(d))。さらに、電源を有する制御部、記憶部、および演算部を備えた温調器(オムロン社製E5ZE)を用意し、セラミックヒータ10に、外部端子33を介して制御部23からの配線を接続するとともに、熱電対17からの配線を記憶部21に接続し、セラミックヒータ10の製造を終了した。

20 (実施例2) 窒化アルミニウム製のセラミックヒータ(図4参照)の製造

セラミック基板にスクリーン印刷により導体ペーストを印刷する際、印刷パターンとして、図4に示したように、最外周に円周方向に分割し形成した屈曲線の繰り返しパターンと、その内側に同心円状のパターンとを形成したほかは、実施例1と同様にして、セラミックヒータ50を製造し、上記温調器を接続した。

25 ただし、実際の屈曲線の繰り返しパターンは、図4に示したものより間隔が狭く、従って繰り返し回数も多く、その幅も広いものであった。

また、パターン内の回路の総数は8とした。

これは、セラミック基板51に設けた抵抗発熱体52の回路の総数nとセラミ

ック基板 5 1 の直径 r (mm) との間に、上記 (1) 式の関係が成り立つよう に設定した値である。

(実施例 3) 炭化珪素製のセラミックヒータの製造

平均粒径 1. 1 μ m (屋久島電工社製 ダイヤシック C-1000) の炭化珪素を使用し、焼結温度を 1900°C とし、得られたセラミック基板の表面を 1500°C で 2 時間焼成して表面に厚さ 1 μ m の SiO₂ 層を形成したほかは、実施例 1 と同様にし、炭化珪素製のセラミックヒータを製造し、上記温調器を接続した。

(実施例 4) 窒化アルミニウム製のセラミックヒータの製造

10 抵抗発熱体のパターンについて、回路の総数が、最外周に円周方向に分割され形成された円弧の繰り返しパターンが 4 と、その内側に同心円状のパターンが 2 とで、総数 6 とした以外は、実施例 1 と同様にしセラミックヒータを製造し、上記温調器を接続した。

15 これは、セラミック基板に設けた上記抵抗発熱体の回路の総数 n と上記セラミック基板の直径 r (mm) との間に、上記 (1) 式の関係が成り立たないように設定した値である。

(実施例 5) 窒化アルミニウム製のセラミックヒータ (図 9 参照) の製造

セラミック基板にスクリーン印刷により導体ペーストを印刷する際、印刷パターンとして、図 9 に示したように、セラミック基板の内側部分に円周方向に 2 分割されたパターンを形成したほかは、実施例 1 と同様にし、セラミックヒータを製造し、上記温調器を接続した。

また、パターン内の回路の総数は 9 とした。

これは、セラミック基板 8 1 に設けた抵抗発熱体 1 2 の回路の総数 n とセラミック基板 8 1 の直径 r (mm) との間に、上記 (1) 式の関係が成り立つよう に設定した値である。

(比較例 1) 窒化アルミニウム製のセラミックヒータ (図 7 参照) の製造

セラミック基板にスクリーン印刷により導体ペーストを印刷する際、印刷パターンとして、図 7 に示したように、同心円状のパターンを形成したほかは、実施

例1と同様にし、セラミックヒータ60を製造し、上記温調器を接続した。

また、パターン内の回路の総数は8とした。

これは、セラミック基板61に設けた抵抗発熱体62の回路の総数nとセラミック基板61の直径r(mm)との間に、上記(1)式の関係が成り立つように5設定した値である。

(比較例2) 窒化アルミニウム製のセラミックヒータの製造

抵抗発熱体のパターンについては、回路の総数を3とし、外側部分に2つの円周方向に分割された回路を形成し、内側部分には、1つの渦巻き状のパターンを形成した以外は、実施例1と同様にし、また、製造方法については、実施例1と10同様にし、窒化アルミニウム製のセラミックヒータを製造し、上記温調器を接続した。

これは、セラミック基板に設けた上記抵抗発熱体の回路の総数nと上記セラミック基板の直径r(mm)との間に、上記(1)式の関係が成り立たないように設定した値である。

15 (比較例3) 窒化アルミニウム製のセラミックヒータの製造(図10参照)

特開平8-125001号公報に記載されているように、抵抗発熱体のパターンを、セラミック基板の内側部分と外側部分で連続した回路であるとともに、円周方向で分割されているような構成(図10参照)とし、回路の総数を12とした以外は実施例1と同様にし、セラミックヒータを製造し、上記調温器を接続した。これは、セラミック基板に設けた上記抵抗発熱体の回路の総数nとセラミック基板の直径r(mm)との間には、上記(1)式の関係が成り立つものの、同心円または渦巻き状のパターンの回路がないものである。

(試験例1)

セラミック基板の直径を150mmとした以外は、比較例1と同様にし、セラミックヒータを製造し、上記調温器を接続した。

これは、セラミック基板に設けた上記抵抗発熱体の回路の総数nとセラミック基板の直径r(mm)との間には、上記(1)式の関係が成り立つものの、円周方向に分割された回路がないパターンとしたものである。

(実施例6) 窒化アルミニウム製のセラミックヒータ(図1、2参照)の製造

(1) 窒化アルミニウム粉末(平均粒径: 1. 1 μm) 100重量部、イットリア(平均粒径: 0. 4 μm) 4重量部、アクリル系バインダ12重量部およびアルコールからなる組成物のスプレードライを行い、顆粒状の粉末を作製した。

5 (2) 次に、この顆粒状の粉末を金型に入れ、平板状に成形して生成形体(グリーン)を得た。

(3) 加工処理の終った生成形体を1800°C、圧力: 20 MPaでホットプレスし、厚さが3mmの窒化アルミニウム板状体を得た。

10 次に、この板状体から直径310mmの円板体を切り出し、セラミック製の板状体(セラミック基板)11とした。

この成形体にドリル加工を施し、半導体ウェハを支持するリフターピンを挿入する貫通孔15となる部分、熱電対を埋め込むための有底孔14となる部分(直径: 1. 1 mm、深さ: 2 mm)を形成した(図6(a))。

15 (4) 上記(3)で得たセラミック基板11に、スクリーン印刷にて導体ペーストを印刷し、抵抗発熱体12の回路の総数が8になるように、導体ペースト層を形成した。

これは、セラミック基板11に設けた抵抗発熱体12の回路の総数nとセラミック基板11の直径r(mm)との間に、下記の(2)式の関係が成り立つよう

に設定した値である。

$$20 n \geq r^{1.94} \times 10^{-4} \dots (2)$$

ちなみに、この場合、n \geq 6. 8である。

また、印刷パターンとして、図1に示したように、最外周に同心円が円周方向に分割され形成された円弧の繰り返しパターンと、その内側に同心円状のパターンとを形成した。

25 導体ペーストとしては、プリント配線板のスルーホール形成に使用されている徳力化学研究所製のソルベストPS603Dを使用した。

この導体ペーストは、銀-鉛ペーストであり、銀100重量部に対して、酸化鉛(5重量%)、酸化亜鉛(55重量%)、シリカ(10重量%)、酸化ホウ素

(25重量%) およびアルミナ(5重量%) からなる金属酸化物を7.5重量部含むものであった。また、銀粒子は、平均粒径が4.5μmで、リン片状のものであった。

5 (5) 次に、導体ペーストを印刷したセラミック基板11を780°Cで加熱、焼成して、導体ペースト中の銀、鉛を焼結させるとともにセラミック基板11に焼き付け、抵抗発熱体12を形成した(図6(b))。

銀一鉛の抵抗発熱体12は、厚さが5μm、幅2.4mm、面積抵抗率が7.7mΩ/□であった。

10 (6) 硫酸ニッケル80g/1、次亜リン酸ナトリウム24g/1、酢酸ナトリウム12g/1、ほう酸8g/1、塩化アンモニウム6g/1の濃度の水溶液からなる無電解ニッケルめっき浴に上記(5)で作製したセラミック基板11を浸漬し、銀一鉛の抵抗発熱体12の表面に厚さ1μmの金属被覆層(ニッケル層)を析出させた(図6(c))。

15 (7) 電源との接続を確保するための端子を取り付ける部分に、スクリーン印刷により、銀一鉛半田ペースト(田中貴金属社製)を印刷して半田層を形成した。

ついで、半田層の上にコバール製の外部端子33を載置して、420°Cで加熱リフローし、外部端子33を抵抗発熱体12の表面に取り付けた。

20 (8) 温度制御のための熱電対を有底孔14にはめ込み、セラミック接着剤(東亜合成社製アロンセラミック)を埋め込んで固定しセラミックヒータ10を得た(図6(d))。さらに、電源を有する制御部、記憶部、および演算部を備えた温調器(オムロン社製E5ZE)を用意し、セラミックヒータ10に、外部端子33を介して制御部23からの配線を接続するとともに、熱電対17からの配線を記憶部21に接続し、セラミックヒータ10の製造を終了した。

25 (実施例7) 窒化アルミニウム製のセラミックヒータ(図4参照)の製造
セラミック基板にスクリーン印刷により導体ペーストを印刷する際、印刷パターンとして、図4に示したように、最外周に円周方向に分割し形成した屈曲線の繰り返しパターンと、その内側に同心円状のパターンとを形成したほかは、実施例6と同様にして、抵抗発熱体がセラミック基板の底面に形成されたセラミック

ヒータを製造し、上記温調器を接続した。

ただし、実際の屈曲線の繰り返しパターンは、図4に示したものより間隔が狭く、従って繰り返し回数も多く、その幅も広いものであった。

また、パターン内の回路の総数は8とした。

5 これは、セラミック基板51に設けた抵抗発熱体52の回路の総数nとセラミック基板51の直径r(mm)との間に、上記(2)式の関係が成り立つように設定した値である。ちなみに、この場合も、 $n \geq 6, 8$ である。

(実施例8) 炭化珪素製のセラミックヒータの製造

平均粒径1.1μm(屋久島電工社製ダイヤシックC-1000)の炭化珪素を使用し、焼結温度を1900°Cとし、得られたセラミック基板の表面を1500°Cで2時間焼成して表面に厚さ1μmのSiO₂層を形成したほかは、実施例6と同様にし、炭化珪素製のセラミックヒータを製造し、上記温調器を接続した。

(実施例9) 窒化アルミニウム製のセラミックヒータ(図8参照)の製造

15 セラミック基板にスクリーン印刷により導体ペーストを印刷する際、印刷パターンとして、図8に示したように、同心円状のパターンを形成したほかは、実施例6と同様にし、セラミックヒータ70を製造し、上記温調器を接続した。

また、パターン内の回路の総数は16とした。

これは、セラミック基板71に設けた抵抗発熱体72の回路の総数nとセラミック基板71の直径r(mm)との間に、上記(2)式の関係が成り立つように設定した値である。

なお、図8は、第二および第三の本発明のセラミックヒータにおける抵抗発熱体パターンを模式的に示す底面図である。このセラミックヒータ70においては、セラミック基板71の最外周に、円周方向に分割された屈曲線の繰り返しパターンからなる抵抗発熱体72a～72hが形成され、その内周に、同様の屈曲線の繰り返しパターンからなる抵抗発熱体72i～72lが形成されている。また、さらにその内周に、同心円形状からなる抵抗発熱体72m～72pが形成されており、回路の総数は、16である。

(実施例 10) 窒化アルミニウム製のセラミックヒータ (図 9 参照) の製造

セラミック基板にスクリーン印刷により導体ペーストを印刷する際、印刷パターンとして、図 9 に示したように、セラミック基板の内側部分に円周方向に 2 分割されたパターンを形成したほかは、実施例 6 と同様にし、セラミックヒータを
5 製造し、上記温調器を接続した。

また、パターン内の回路の総数は 9 とした。

これは、セラミック基板 8 1 に設けた抵抗発熱体 8 2 の回路の総数 n とセラミック基板 8 1 の直径 r (mm) との間に、上記 (2) 式の関係が成り立つように設定した値である。

10 (比較例 4) 窒化アルミニウム製のセラミックヒータの製造 (図 7 参照)

特開平 11-40330 号公報に記載されているように、抵抗発熱体のパターンを、同心円状のパターンのみ (図 7 参照) とした以外は、実施例 6 と同様にしセラミックヒータ 6 0 を製造し、上記調温器を接続した。

15 これは、セラミック基板に設けた上記抵抗発熱体の回路の総数 n とセラミック基板の直径 r (mm) との間には、上記 (2) 式の関係が成り立つものの、円周方向に分割された回路がないパターンとしたものである。

(比較例 5) 窒化アルミニウム製のセラミックヒータの製造

20 抵抗発熱体のパターンについて、内側の同心円状パターンからなる回路の数を 2 とし、回路の総数を 6 とした以外は、実施例 6 と同様にし、セラミックヒータを製造し、上記調温器を接続した。

これは、セラミック基板に設けた上記抵抗発熱体の回路の総数 n とセラミック基板 6 1 の直径 r (mm) との間に、上記 (2) 式の関係が成り立たないように設定した値である。

(比較例 6) 窒化アルミニウム製のセラミックヒータの製造 (図 10 参照)

25 特開平 8-125001 号公報に記載されているように、抵抗発熱体のパターンを、セラミック基板の内側部分と外側部分で連続した回路であるとともに、円周方向で分割されているような構成 (図 10 参照) とし、回路の総数を 12 とした以外は実施例 6 と同様にし、セラミックヒータを製造し、上記調温器を接続し

た。これは、セラミック基板に設けた上記抵抗発熱体の回路の総数 n とセラミック基板の直径 r (mm) との間には、上記(2)式の関係が成り立つものの、同心円または渦巻き状のパターンの回路がないものである。

(比較例7) 窒化アルミニウム製のセラミックヒータの製造

5 セラミック基板の直径を 200 mm とし、回路の総数を 2 とした以外は実施例
6 と同様にし、セラミックヒータを製造し、上記調温器を接続した。これは、セ
ラミック基板に設けた上記抵抗発熱体の回路の総数 n とセラミック基板の直径 r
(mm) との間には、上記(2)式の関係が成り立たないように設定したもの
である。

10 (試験例2)

セラミック基板の直径を 150 mm とした以外は、比較例4と同様にし、セラ
ミックヒータを製造し、上記調温器を接続した。

これは、セラミック基板に設けた上記抵抗発熱体の回路の総数 n とセラミック
基板の直径 r (mm) との間には、上記(2)式の関係が成り立つものの、円周
15 方向に分割された回路がないパターンとしたものである。

上記工程を経て得られた実施例1～10、比較例1～7、および、試験例1、
2に係るセラミックヒータについて、以下の指標で評価した。その結果を表1に
示す。

評価方法

20 (1) 定常時における加熱面内温度分布

17 ポイント測温素子 (Pt 抵抗体測温素子) つきのシリコンウェハを使用し
て、面内の温度分布を測定した。温度分布は、200°C 設定での最高温度と最低
温度との温度差で示す。

(2) 過渡時面内温度分布

25 室温～190°Cまでの昇温した時の面内温度の分布を測定した。温度分布は、
昇温中における最高温度と最低温度との温度差の最大値で示す。

(3) セラミック基板の反り量

セラミック基板の反り量をレーザ変位計 (キーエンス社製) で測定した。

(4) セラミック基板の外周から 10 mm以内の面内温度分布

外周に 10 ポイントの測温素子が付いたシリコンウェハを使用し、加熱面の面内温度分布を測定した。温度分布は、200°C設定での最高温度と最低温度との温度差で示す。

5 (5) シリコンウェハの温度分布

シリコンウェハをセラミック基板から 100 μm 離間させて、温度分布をサーモビュアで測定した。温度分布は、200°C設定での最高温度と最低温度との温度差で示した。

表 1

	定常時の面内温度分布 (°C)	過渡時の面内温度分布 (°C)	セラミック基板の反り量 (μm)	セラミック基板の面内温度分布 (°C)	シリコンウェーブの温度分布 (°C)
実施例1	0.5	5.0	20	0.3	0.5
実施例2	0.5	5.2	25	0.3	0.5
実施例3	0.4	5.0	22	0.2	0.4
実施例4	0.5	5.1	23	0.3	0.5
実施例5	0.3	4.0	10	0.3	0.3
比較例1	5.2	8.3	25	5.2	5.3
比較例2	8.1	10.1	25	5.0	8.0
比較例3	5.0	8.0	65	0.5	10.0
試験例1	2.0	5.2	25	2.0	2.0
実施例6	0.5	5.0	20	0.3	0.5
実施例7	0.5	5.2	25	0.3	0.5
実施例8	0.4	5.0	22	0.2	0.4
実施例9	0.5	5.1	23	0.3	0.5
実施例10	0.3	4.0	10	0.3	0.3
比較例4	5.2	8.3	25	5.2	5.3
比較例5	8.1	10.1	25	5.0	8.0
比較例6	5.0	8.0	65	0.5	10.0
比較例7	5.0	8.0	24	0.5	5.0
試験例2	2.0	5.2	25	2.0	2.0

表1より明らかなように、実施例に係るセラミックヒータは、いずれも定常時および過渡時の面内温度分布が小さかった。

これは、温度の不安定化が大きくなるセラミック基板の最外周に、円周方向に分割された回路からなる抵抗発熱体を形成したことにより、セラミック基板の外周部でより細かい発熱量制御を行うことが可能となり、その結果、加熱面の温度が均一にすることができたためであると考えられる。
5

また、実施例6～10に係るセラミックヒータでは、セラミック基板に設けた抵抗発熱体の回路の総数nとセラミック基板の直径r (mm)との関係を示す下記(2)式を満たすように、抵抗発熱体が形成されていたため、セラミック基板の加熱面の面積に対する抵抗発熱体の回路の総数が充分に多くなり、一回路が加熱する面積が適切な範囲となり、一回路内における発熱量のばらつきを小さくすることができたためであり、その結果、細かい発熱量の制御を精度よく行うことが可能となり、加熱面が均一になったと考えられる。
10

$$n \geq r^{1.94} \times 10^{-4} \dots (2)$$

一方、比較例に係るセラミックヒータは、実施例に係るセラミックヒータと比べて、定常時および過渡時の面内温度分布が大きかった。
15

特に、比較例2および比較例5に係るセラミックヒータは定常時および過渡期の面内温度分布が著しく大きく、セラミックヒータの外周部における温度のばらつきが顕著に現れた。

比較例2に係るセラミックヒータでは、同心円形状のパターンの抵抗発熱体を形成したことで、温度の不安定化が大きくなるセラミック基板の外周部で細かい発熱量制御を行うことが困難となり、その結果、加熱面の温度が不均一になってしまったためであると考えられた。
20

また、比較例5に係るセラミックヒータでは、上記(2)式を満たすような数の回路からなる抵抗発熱体が形成されておらず、加熱面の面積に対する抵抗発熱体の回路の総数が少なく、一回路が加熱する面積が広すぎたためか、または、比較例4に係るセラミックヒータのように、抵抗発熱体のパターンが円周方向に分割されていないため、制御が困難であったため、全体として発熱量を
25

精度よく制御することが困難となり、加熱面を均一にすることことができなかつたと考えられた。

また、比較例 2 と比較して、比較例 1 が、定常時および過渡時の面内温度分布が小さかった。これは、比較例 1 に係るセラミックヒータは、セラミック基板に設けた抵抗発熱体の回路の総数 n とセラミック基板の直径 r (mm) との間の好適な関係を示す下記 (1) 式を満たすように、抵抗発熱体が形成されていたためであると考えられる。

$$n \geq r^{1.94} \times 0.5 \times 10^{-4} \dots (1)$$

比較例 1 および比較例 4 に係るセラミックヒータの加熱面の温度分布は、外周部の温度分布と同じ、すなわち、外周部の温度分布によって生じており、実施例 1 ~ 10、比較例 2 および比較例 5 に係るセラミックヒータの加熱面の温度分布は、外周部の温度分布とは異なる、すなわち、外周部の温度分布に起因するものではなく、外周部とその内部との温度差によるものであった。これは、比較例 1 および比較例 4 に係るセラミックヒータに形成された抵抗発熱体のパターンが、円周方向に分割されておらず、温度分布が生じやすい外周部に形成された回路が加熱する面積が広すぎたため、外周部における温度制御が困難となり、外周部に温度分布が発生したと考えられる。

また、比較例 3 および比較例 6 に係るセラミックヒータでは、抵抗発熱体が円周方向に分割されたパターンのみであったため、セラミック基板の反りが大きく、シリコンウェハを均一に加熱することができなかつたものと考えられる。

比較例 7 に係るセラミックヒータでは、回路の総数を 3 未満としたため、局所的な温度制御ができず、温度差が大きくなつたものと推定された。

さらに、試験例 1 および試験例 2 に係るセラミックヒータから、直径が 200 mm 未満のセラミック基板を有するセラミックヒータでは、同心円パターンの抵抗発熱体のみの場合であつても、温度分布が小さいことがわかる。従つて、直径が 200 mm 以上のセラミック基板を有するセラミックヒータにおいて、本発明のような調整が必要であると考えられた。

産業上利用の可能性

以上説明したように本発明のセラミックヒータによれば、細かい発熱量制御を容易に高精度で行うことが可能であるため、半導体ウェハの加熱面の温度を均一化することができる。結果として、半導体ウェハ上の樹脂硬化物の硬化度⁵を均一にすることができ、また、半導体ウェハの破損を防止することができる。

請求の範囲

1. 円板形状のセラミック基板の表面または内部に抵抗発熱体が形成されてなるセラミックヒータであって、

5 前記セラミック基板の最外周には、円周方向に分割された少なくとも2以上の回路からなる抵抗発熱体が配置されるとともに、外周部分に配置された前記抵抗発熱体の内側に、別の回路からなる抵抗発熱体が形成されていることを特徴とするセラミックヒータ。

10 2. 前記セラミック基板に設けられた抵抗発熱体の回路の総数nと、前記セラミック基板の直径r (mm)との間には、下記の(1)式の関係が成り立つ請求の範囲1記載のセラミックヒータ。

$$n \geq r^{1.94} \times 0.5 \times 10^{-4} \dots (1)$$

15 3. 前記別の回路からなる抵抗発熱体は、同心円または渦巻き形状である請求の範囲1または2に記載のセラミックヒータ。

4. 前記別の回路からなる抵抗発熱体は、同心円または渦巻き形状と、円周方向に分割された抵抗発熱体の混成である請求の範囲1～3のいずれか1に記載の
20 セラミックヒータ。

5. 直径200mm以上の円板形状のセラミック基板の表面または内部に2以上の回路からなる抵抗発熱体が形成されたセラミックヒータであって、前記抵抗発熱体の少なくとも一の回路は、円周方向に分割されてなり、かつ、

25 同心円または渦巻きパターンを含み、さらに、

前記抵抗発熱体の回路の総数は、3以上であることを特徴とするセラミックヒータ。

6. 円板形状のセラミック基板の表面または内部に 2 以上の回路からなる抵抗発熱体が形成されたセラミックヒータであって、

前記抵抗発熱体の少なくとも一の回路は、円周方向に分割されてなり、かつ、同心円または渦巻きパターンを含み、さらに、

5 前記抵抗発熱体の回路の総数 n と前記セラミック基板の直径 r (mm) との間には、下記の (2) 式の関係が成り立つことを特徴とするセラミックヒータ。

$$n \geq r^{1.94} \times 10^{-4} \dots (2)$$

7. 前記セラミックヒータは、100～800°Cで使用される請求の範囲 1～
10 6 のいずれか 1 に記載のセラミックヒータ。

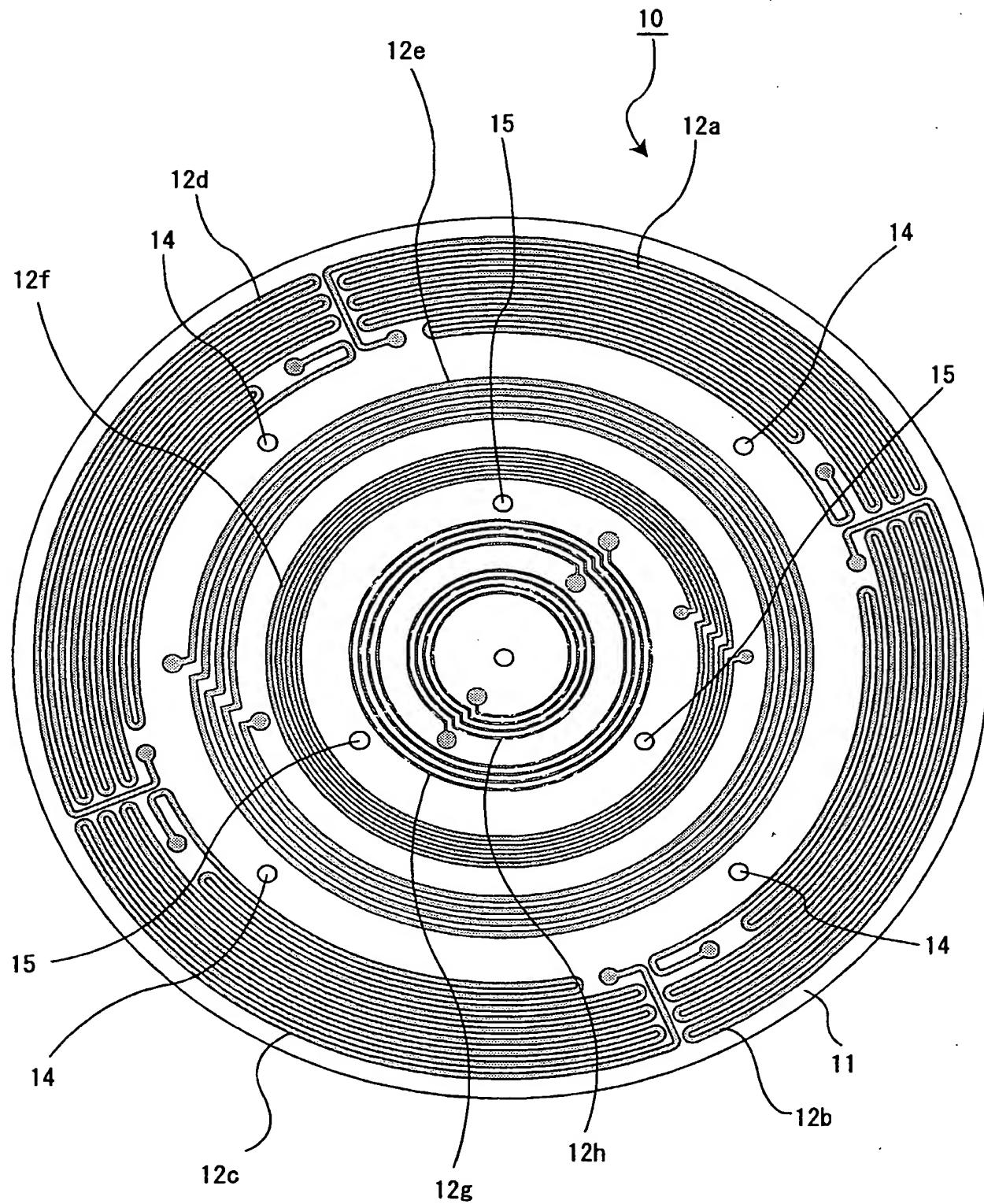
8. 前記セラミック基板の温度を測定する測温素子と、前記複数の回路からなる抵抗発熱体に電力を供給する制御部と、前記測温素子により測定された温度データを記憶する記憶部と、前記温度データから前記抵抗発熱体に必要な電力を演算する演算部とを備えてなり、

前記抵抗発熱体の複数の回路には、それぞれ異なる電力が供給されるように構成されている請求の範囲 1～7 のいずれか 1 に記載のセラミックヒータ。

9. 前記セラミック基板は、窒化物セラミックまたは炭化物セラミックからなる請求の範囲 1～8 のいずれか 1 に記載のセラミックヒータ。

1/10

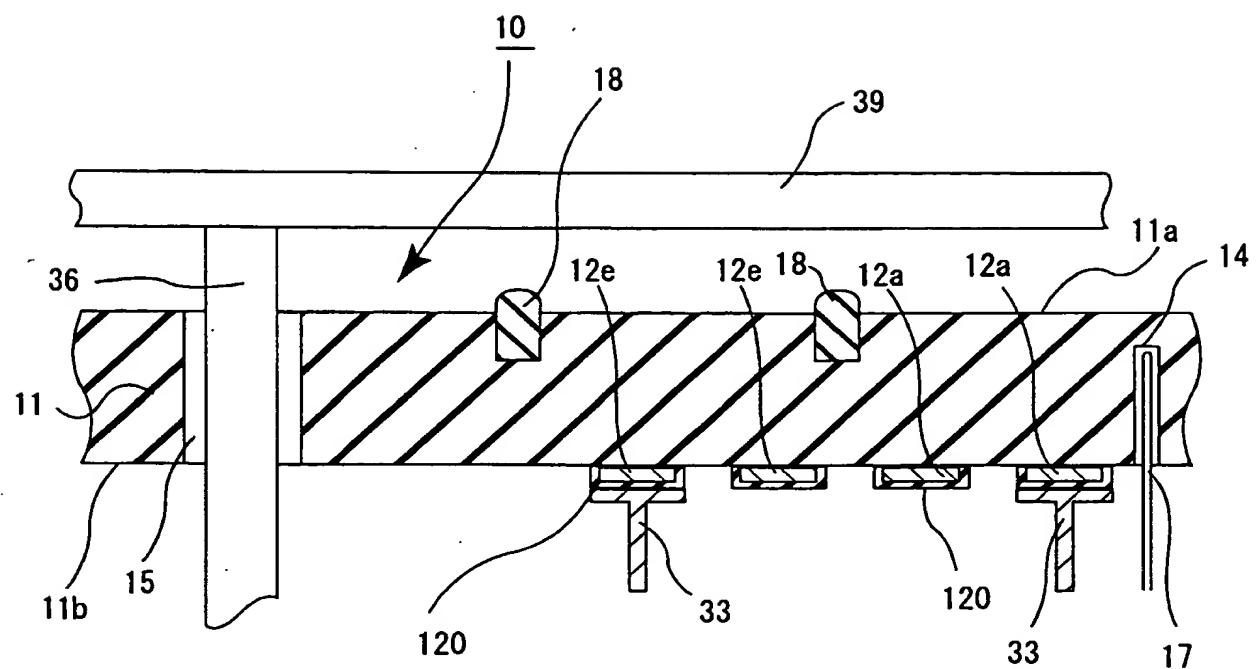
図1



THIS PAGE BLANK (USPTO)

2/10

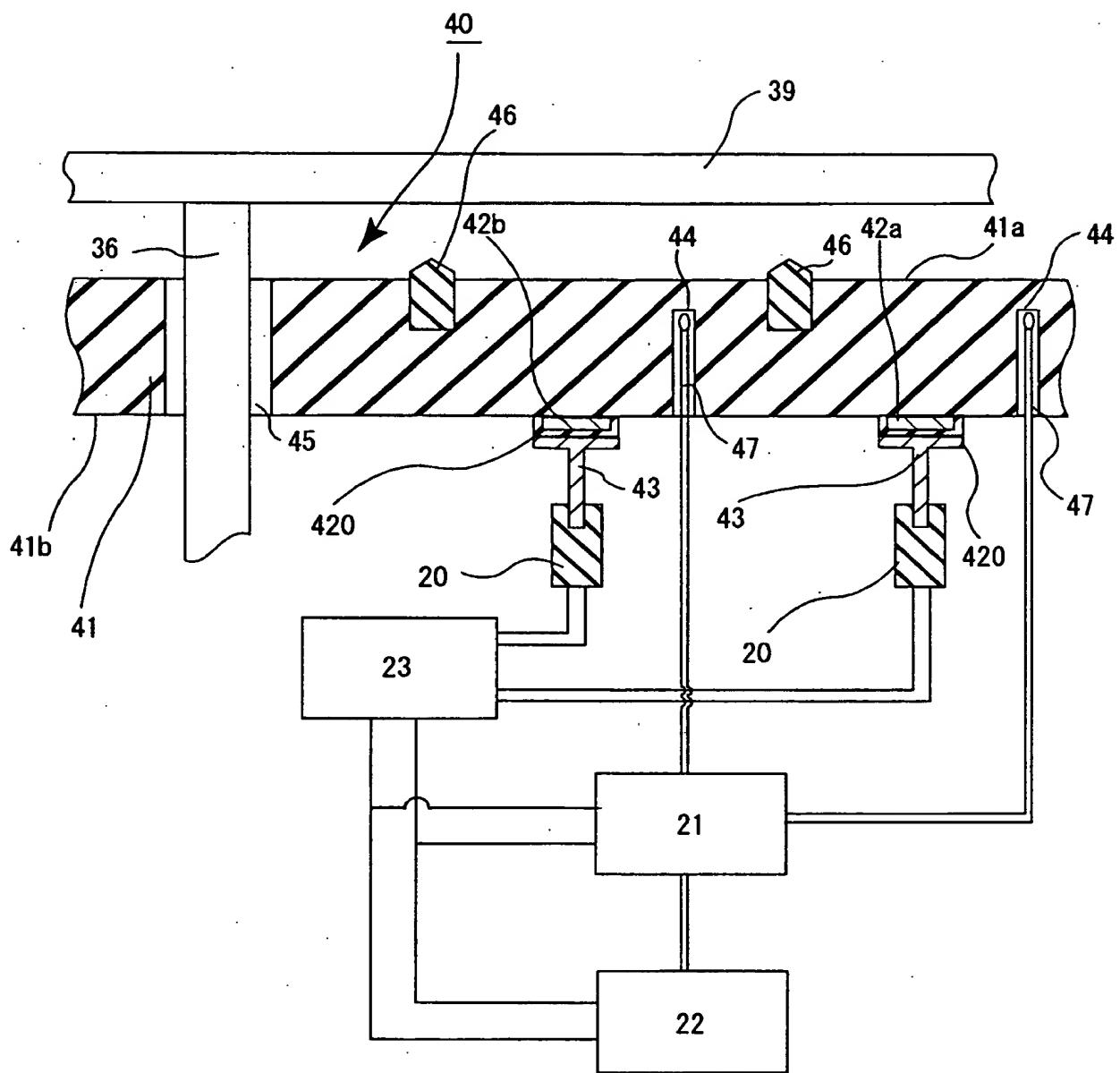
図2



THIS PAGE BLANK (USPTO)

3/10

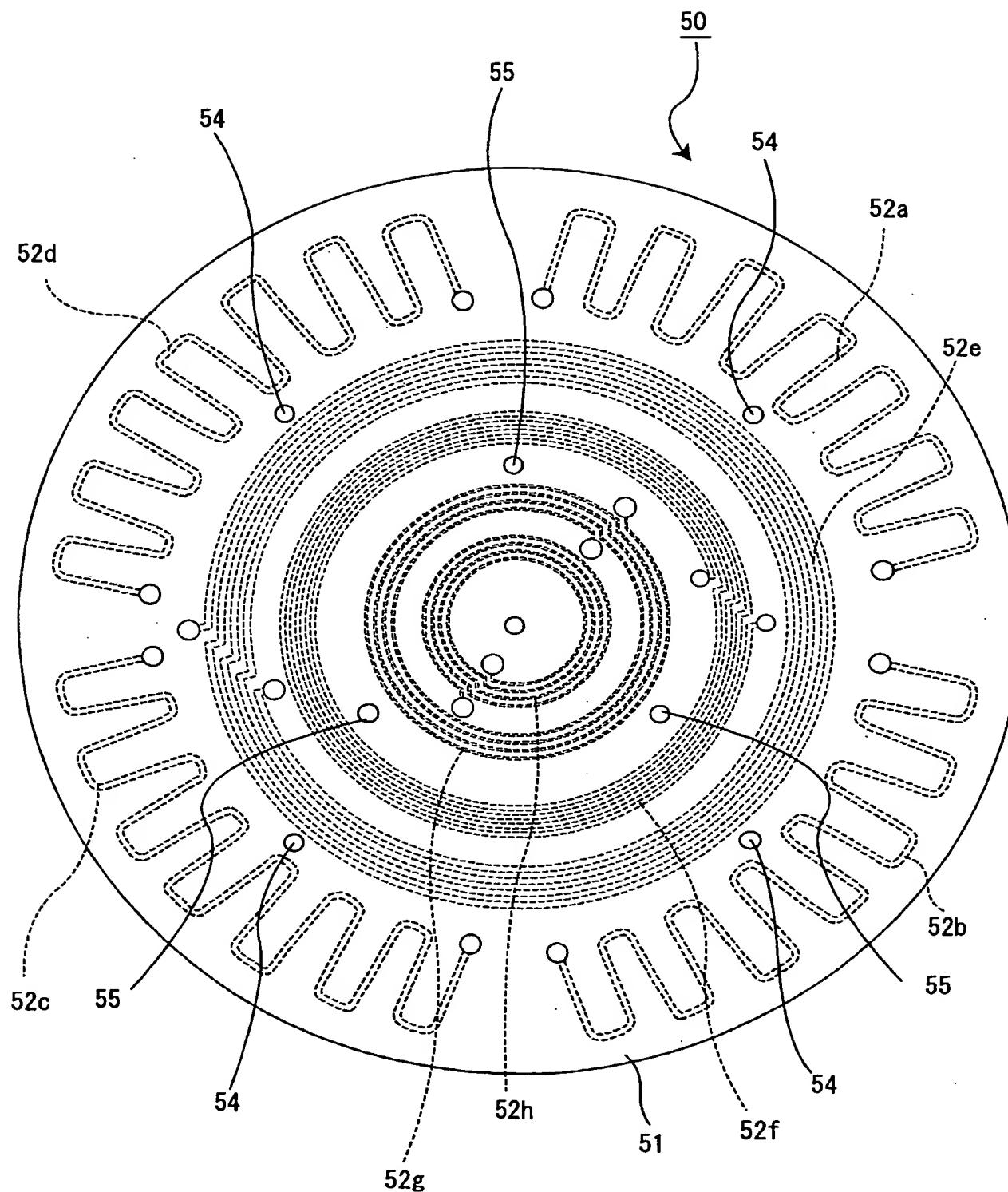
図3



THIS PAGE BLANK (USPTO)

4/10

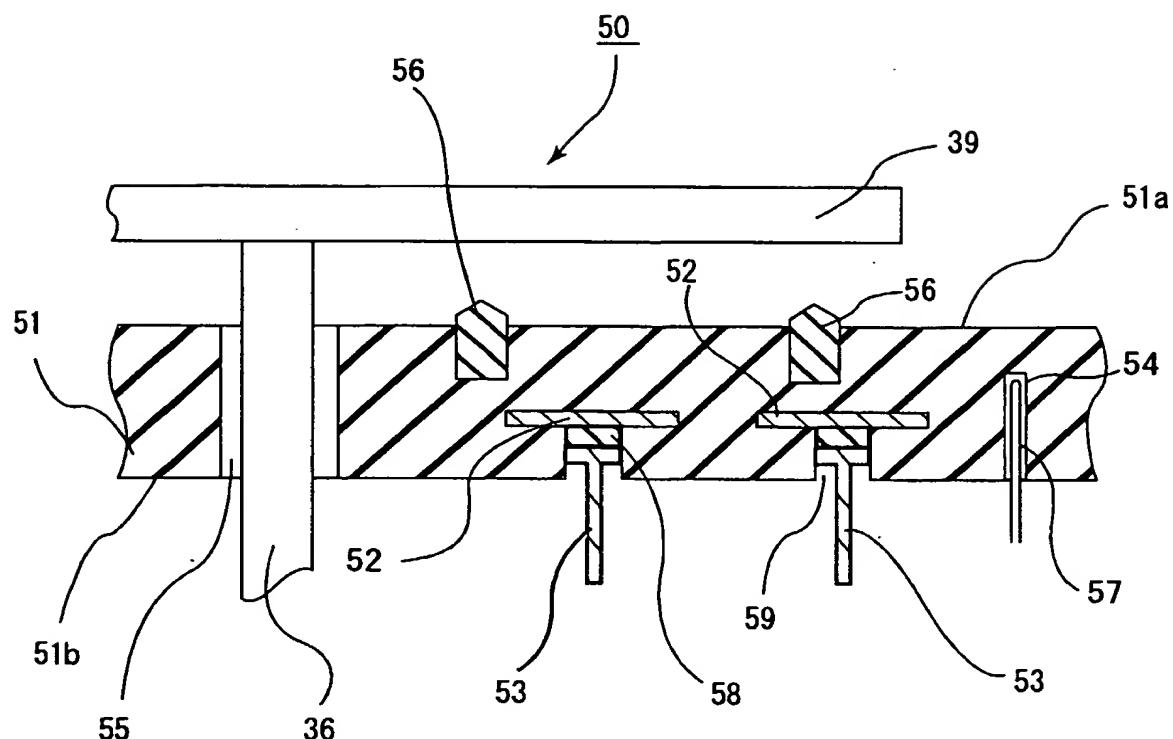
図4



THIS PAGE BLANK (USPTO)

5/10

図5

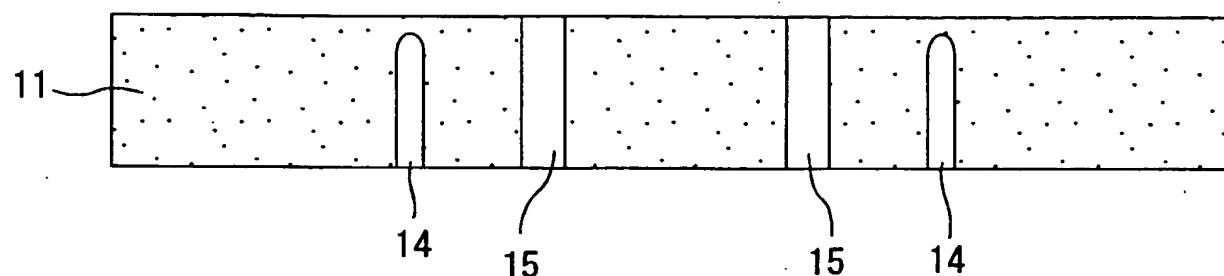


THIS PAGE BLANK (USPTO)

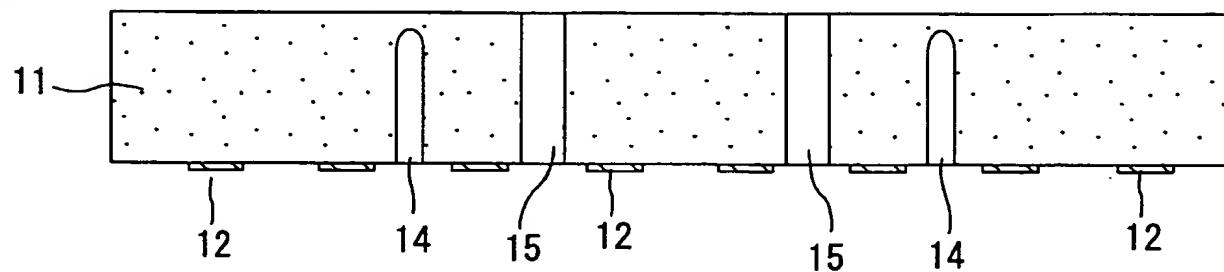
6/10

図6

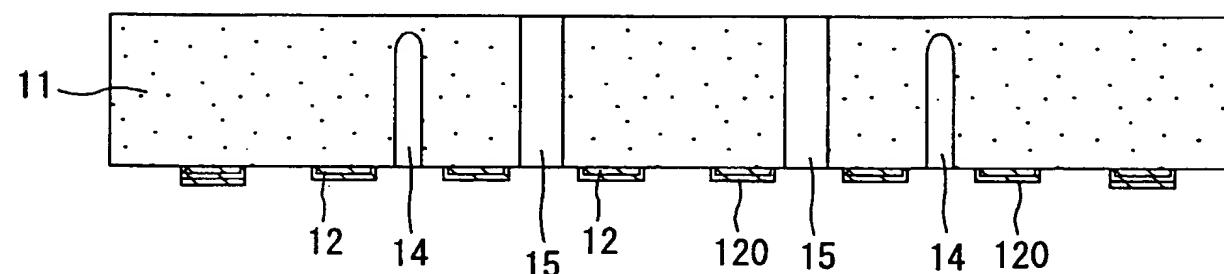
(a)



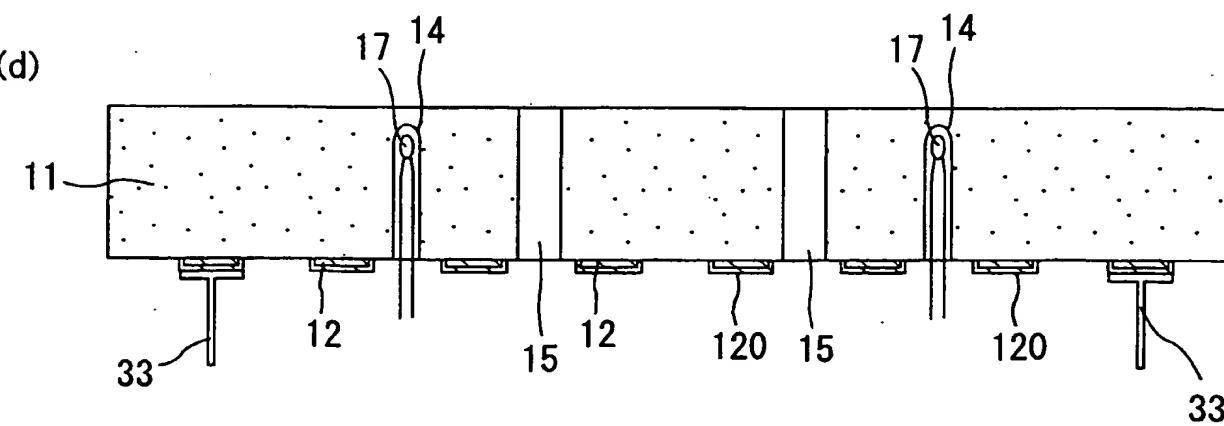
(b)



(c)



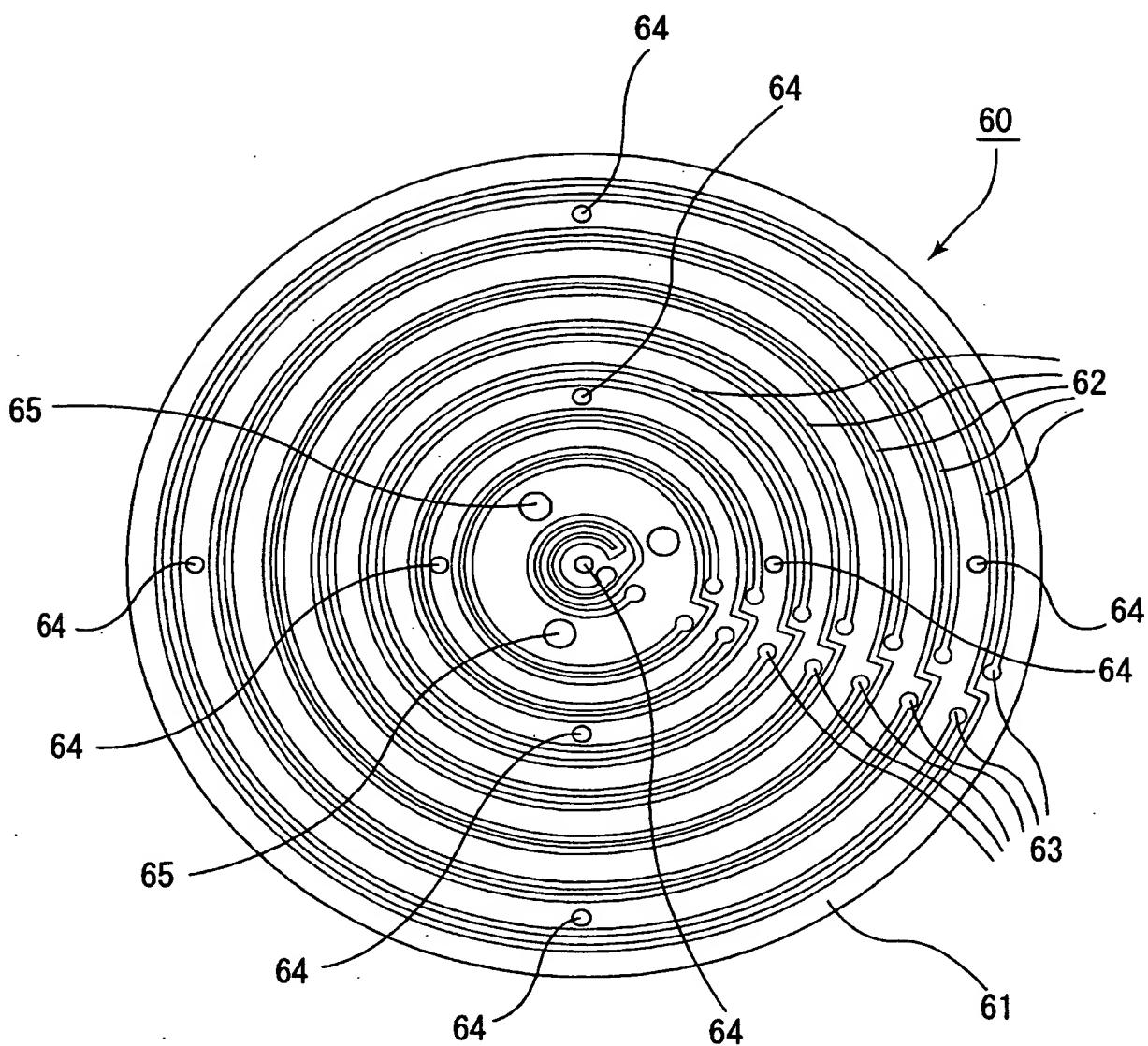
(d)



THIS PAGE BLANK (USPTO)

7/10

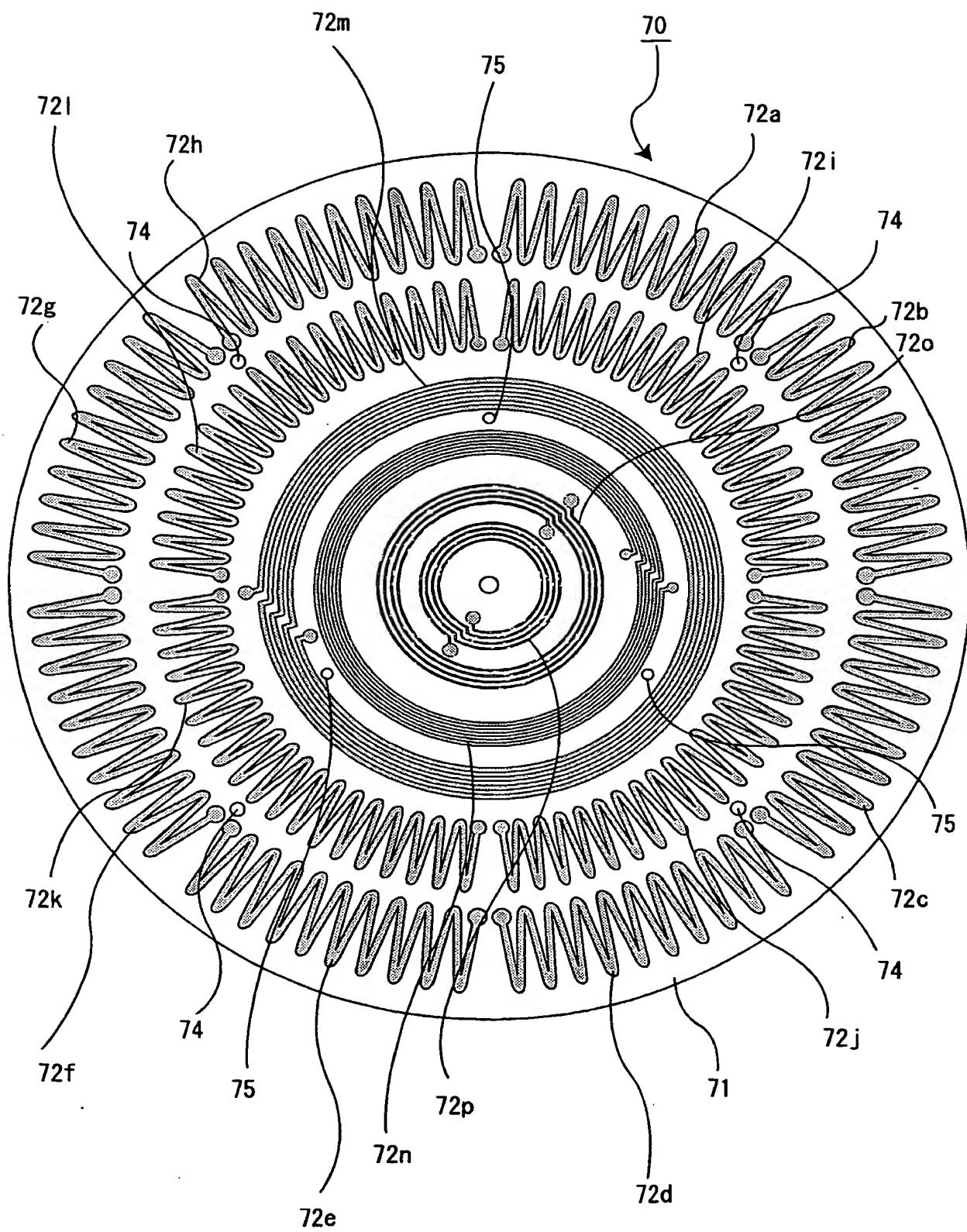
図7



THIS PAGE BLANK (USPTO)

8/10

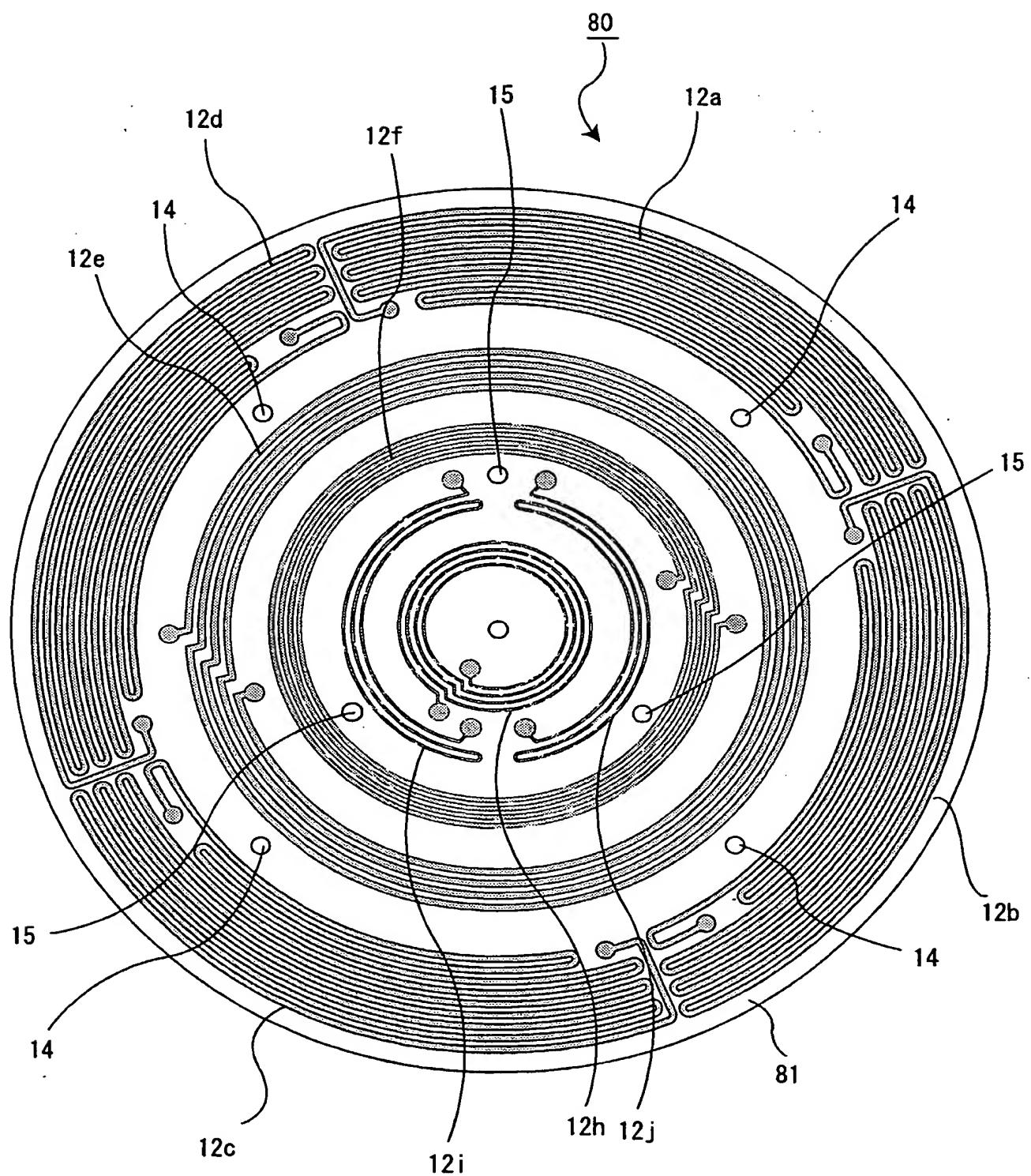
図8



THIS PAGE BLANK (USPTO)

9/10

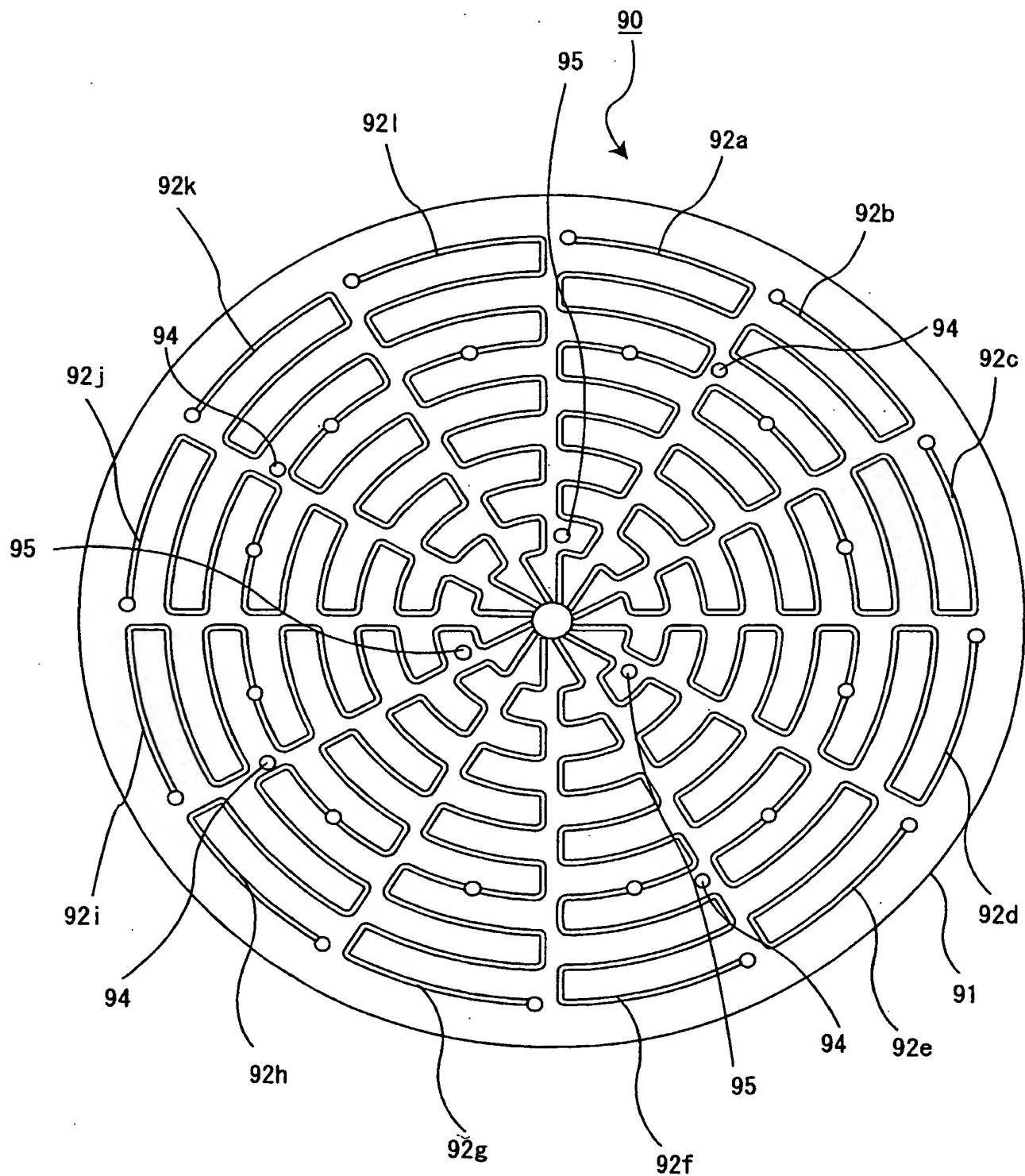
図9



THIS PAGE BLANK (USPTO)

10/10

図10



THIS PAGE BLANK (USPTO)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP01/02898

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl' H05B3/10, H05B3/16, H05B3/20, H01L21/027

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl' H05B3/10, H05B3/16, H05B3/20, H01L21/027, H05B3/68, H01L21/205

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched
 Jitsuyo Shinan Koho 1926-1996 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2001
 Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2001 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2001

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP, 6-77148, A (NGK Insulators, Ltd.), 18 March, 1994 (18.03.94), Full text; Fig. 5 (Family: none)	1-9
Y	JP, 2-27715, A (Mitsubishi Electric Corporation), 30 January, 1990 (30.01.90), Full text; Fig. 1 (Family: none)	1-9
Y	JP, 11-40330, A (Ibiden Co., Ltd.), 12 February, 1999 (12.02.99), Full text; Fig. 1 (Family: none)	1-9

Further documents are listed in the continuation of Box C.

See patent family annex.

- * Special categories of cited documents:
- "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- "E" earlier document but published on or after the international filing date
- "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
- "&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
30 May, 2001 (30.05.01)

Date of mailing of the international search report
12 June, 2001 (12.06.01)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Faxsimile No.

Telephone No.

THIS PAGE BLANK (USPTO)

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））

Int C1' H05B3/10, H05B3/16, H05B3/20, H01L21/027

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC））

Int C1' H05B3/10, H05B3/16, H05B3/20, H01L21/027, H05B3/68, H01L21/205

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1926-1996
日本国公開実用新案公報	1971-2001
日本国登録実用新案公報	1994-2001
日本国実用新案登録公報	1996-2001

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y	JP, 6-77148, A (日本碍子株式会社), 18. 3月. 1994 (18. 03. 94), 全文、第5図 (ファミリーなし)	1-9
Y	JP, 2-27715, A (三菱電機株式会社), 30. 1月. 1990 (30. 01. 90), 全文、第1図 (ファミリーなし)	1-9
Y	JP, 11-40330, A (イビデン株式会社), 12. 2 月. 1999 (12. 02. 99), 全文、第1図 (ファミリーな し)	1-9

 C欄の続きにも文献が列挙されている。 パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

- 「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
- 「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
- 「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）
- 「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
- 「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

- 「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
- 「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
- 「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
- 「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

30. 05. 01

国際調査報告の発送日

12.06.01

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)

郵便番号 100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官（権限のある職員）

豊島 唯

3 L 9432



電話番号 03-3581-1101 内線 3337

THIS PAGE BLANK (USPTO)